

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 92с., 13рис., 16таблиц, 18источников, 4 приложений

Ключевые слова: асинхронный двигатель, короткозамкнутый ротор, статор, запрессовка, технологический, воздушный зазор, частотное управление, механические характеристики, ресурсосбережение.

Объектом исследования является асинхронный крановый двигатель с короткозамкнутым ротором

Цель работы - разработка асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с заданными параметрами для работы от преобразователя частоты.

В ходе работы проведен электромагнитный расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, выполнена специальная, технологическая, экономическая часть, а так же раздел, посвященный социальной ответственности.

Для проведения электромагнитного расчета использована методика, изложенная в источнике «Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов» Под ред. И.П. Копылова.-3-е издание – М: высш. шк.2002. Данная методика позволяет производить электромагнитный расчет для асинхронных машин для всех стандартных значений мощности и высоты оси вращения.

В качестве программного средства проведения расчетов выбрана система MathCAD, так как она позволяет значительно сократить время и повысить точность математических вычислений, а так же позволяет производить построения необходимых графиков характеристик.

Введение

Асинхронные машины используются в основном как двигатели. В настоящее время они являются одним из основных типов потребителей электрической энергии, вырабатываемой

электрическими станциями, и составляют основу электропривода большинства механизмов.

Потребность в асинхронных двигателях постоянно растет. Широкое распространение асинхронных двигателей объясняется их конструктивной простотой и низкой, по сравнению с другими типами машин, стоимостью. Благодаря отсутствию коллекторного узла, как наиболее сложного и дорогого в изготовлении, они более просты в изготовлении и обладают высокой эксплуатационной надежностью при минимальном обслуживании. Асинхронные машины выпускаются в широком диапазоне мощностей – от долей ватта до десятков тысяч киловатт. КПД асинхронных двигателей, при мощности более одного киловатта относительно высок и находится в пределах 0,7-0,95 и лишь в микродвигателях значительно снижается. При всех перечисленных достоинствах асинхронные машины имеют так же некоторые недостатки, к которым относится потребление из сети реактивного тока, в результате чего работают с коэффициентом мощности меньше единицы (0,7-0,9 для крупных машин и 0,3-0,7 для микродвигателей). По возможности регулирования частоты вращения асинхронные двигатели также уступают двигателям постоянного тока. Тем не менее, применение асинхронных двигателей, как наиболее дешевых, в регулируемых электроприводах весьма перспективно.

Одним из способов применения асинхронных двигателей является их использование в качестве крановых электродвигателей. Эксплуатация крановых двигателей имеет ряд особенностей. Режим работы, как правило, повторно – кратковременный, причем работа сопровождается значительными перегрузками, частыми пусками, реверсами и торможениями. Кроме того электродвигатели крановых механизмов работают в условиях повышенной тряски и вибраций, а в некоторых случаях, например, при эксплуатации в металлургических производствах, подвергаются воздействию высоких температур, паров и газов. В связи с перечисленными особенностями эксплуатации крановые электродвигатели несколько отличаются от общепромышленных по своим характеристикам и технико-экономическим показателям:

- исполнение, как правило, закрытое
- изоляционные материалы имеют класс нагревостойкости F и H
- момент инерции ротора, по возможности, минимален, а номинальная частота относительно не велика (для снижения потерь при переходных процессах)
- магнитный поток относительно велик для обеспечения перегрузочной способности по моменту

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором применяются в основном в приводе тихоходных крановых механизмов из-за несколько сниженного, по сравнению с двигателями с фазным ротором, пускового момента и повышенных пусковых токов, но сниженная масса (примерно на 8%) и более низкая стоимость (около 30%) при одинаковой мощности, делает их применение, в особенности в частотно-управляемом приводе весьма перспективным.

1. Электромагнитный расчет

Исходные данные к проекту:

Номинальная мощность $P_2 = 750 \text{ Вт}$

Номинальное напряжение: $U_1 = 220 \text{ В}$

Номинальная частота: $f_1 = 60 \text{ Гц}$

Число фаз: $m_1 = 3$

Число пар полюсов: $p = 3 \quad 2p = 6$

Высота оси вращения $h = 80 \text{ мм}$

Степень защиты: IP54

Способ монтажа IM3001

Система охлаждения: ICO141

1.1 Выбор главных размеров

Выбираем наружный диаметр статора из таблиц для АД при $h=80 \text{ мм}$ выбираем:

$$D_a = 0.136 \text{ м}$$

Внутренний диаметр статора рассчитаем по ф-ле, где K_d коэффициент, характеризующий отношение внутренних и внешних диаметров сердечников статора.

K_d выбираем из таблицы, (при $2p=6$ K_d находится в интервале 0.7-0.72) и примем

$$K_d = 0.71$$

$$D = K_d \cdot D_a = 0.71 \cdot 0.136 = 0.0966 \text{ м}$$

Полюсное деление τ найдём из формулы

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot 0.0966}{2 \cdot 3} = 0.0506$$

Расчётная мощность P находится по ф-ле, где P_2 мощность на валу двигателя, Вт; k_E отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению. Определяем его по графику для диаметра $D_a=0.136$ м $k_E=0.97$;
 η и $\cos\phi$ - предварительные значения КПД и коэффициента мощности так же определены по графику для $P_2=0.75$ кВт $\eta=0.72$ и $\cos\phi=0.72$

$$P_1 = \frac{P_2 \cdot k_E}{\eta \cdot \cos\phi} = \frac{750 \cdot 0.94}{0.72 \cdot 0.72} = 1359.0 \quad \text{Вт}$$

Предварительный выбор электро-магнитных нагрузок

По графику, исходя из $D_a = 0.136$ выбираем:

$$B_\delta = 0.82 \quad \text{Тл} \quad A = 22 \cdot 10^3 \quad \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Выбираем обмоточный коэффициент из рекомендованного для однослойной обмотки диапазона (0.95 – 0.96). Обмотка выбирается однослойной так как номинальная мощность небольшая .

$$K_{об1} = 0.96$$

Рассчитаем синхронную угловую частоту вала двигателя.

$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 60}{3} = 126.0 \quad \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Коэффициент формы поля подсчитаем по формуле:

$$k_b = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1.1107$$

Рассчитаем длину воздушного зазора:

$$l_\delta = \frac{P_1}{k_b \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot K_{об1} \cdot A \cdot B_\delta} = \frac{1359.0}{1.1107207345395915 \cdot 0.0966^2 \cdot 126.0 \cdot 0.96 \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 0.82} = 0.0601 \text{ м}$$

Примем $l_\delta=0.062$ м

Произведём проверку:

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau} = \frac{0.062}{0.0506} = 1.23$$

Полученное значение λ входит в область рекомендуемых пределов (0,8-1,7)

1.2 Расчёт обмотки статора.

При расчёте обмотки статора определяется число пазов статора, число витков в фазе обмотки и сечение проводника. При этом число витков фазы обмотки статора должно быть таким, чтобы линейная нагрузка двигателя и индукция в воздушном зазоре как можно более близко совпадали с их значениями принятыми предварительно при выборе главных размеров, а число пазов статора обеспечивало достаточно равномерное распределение катушек обмотки. Предварительно была выбрана однослойная шаблонная обмотка. При однослойной обмотке необходимость в такой прокладке отпадает, вследствие чего повышается заполнение паза обмоточным проводом. Другим преимуществом однослойной обмотки является более легкая механизация укладки ее в пазы.

Выберем предельные значения зубцового деления t_1 из приведенного в методике графика при $\tau = 0.0506$

$$t_{1\min} = 0.006 \quad \text{м} \quad t_{1\max} = 0.009 \quad \text{м}$$

Тогда возможное число пазов статора Z найдём по формуле

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1\max}} = \frac{\pi \cdot 0.0966}{0.009} = 33.7 \quad Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1\min}} = \frac{\pi \cdot 0.0966}{0.006} = 50.6$$

Окончательное число пазов статора выбираем с учётом условий, налагаемых требованиями симметрии обмотки, и желательного получения целого числа пазов на полюс и фазу.

$$Z_1 = 36 \quad q = \frac{Z_1}{2 \cdot p \cdot m_1} = \frac{36}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 2.0$$

Тогда условие $q = 2$ целое число - выполняется.

Окончательное значение зубцового деления статора равно:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p \cdot m_1 \cdot q} = \frac{\pi \cdot 0.0966}{2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2.0} = 0.00843 \quad \text{м}$$

Условие, что при $h > 56$ мм ширина зубцовых делений не должно быть менее 6-7мм, так же выполняется.

Подсчитаем номинальный ток обмотки статора:

$$I_1 = \frac{P_2}{m_1 \cdot U_1 \cdot \eta \cdot \cos\phi} = \frac{750}{3 \cdot 220 \cdot 0.72 \cdot 0.72} = 2.19 \text{ A}$$

Предварительное число эффективных проводников в пазу подсчитаем по ф-ле

$$U_{\pi 1} = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_1 \cdot Z_1} = \frac{\pi \cdot 0.0966 \cdot 22 \cdot 10^3}{2.19 \cdot 36} = 84.7$$

число параллельных ветвей примем :

$$a = 1$$

Окончательное значение числа проводников равно:

$$U_{\pi} = a \cdot U_{\pi 1} = 84.7$$

$$\text{Принимаем } U_{\pi} = 84$$

Окончательное число пазов в фазе обмотки найдём по ф-ле

$$w_1 = \frac{U_{\pi} \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m_1} = \frac{84 \cdot 36}{2 \cdot 3} = 504.0$$

Найдём окончательное значение линейной нагрузки

$$A = \frac{2 \cdot I_1 \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 2.19 \cdot 504.0 \cdot 3}{\pi \cdot 0.0966} = 21822.0 \frac{\text{A}}{\text{м}}$$

Расчитаем значение потока Φ по ф-ле

$$K_{\text{об}1} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot m_1}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot q \cdot m_1}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot 3}\right)}{2.0 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot 2.0 \cdot 3}\right)} = 0.966$$

$$\Phi = \frac{K_{\epsilon} \cdot U_1}{4 \cdot k_b \cdot w_1 \cdot K_{\text{об}1} \cdot f_1} = \frac{0.94 \cdot 220}{4 \cdot 1.1107207345395915 \cdot 504.0 \cdot 0.966 \cdot 60} = 0.0015 \text{ Вб}$$

$$\Phi = 1.59 \times 10^{-3} \text{ Вб}$$

Определим значению индукции в воздушном зазоре :

$$B_{\delta} = \frac{\Phi \cdot p}{D \cdot l_{\delta}} = \frac{0.00159 \cdot 3}{0.0966 \cdot 0.062} = 0.796 \text{ Тл}$$

Значения A и Bs находятся в допустимых пределах для выбранного Da = 0.136 м

По приведенному в методике графику выберем

среднее значение произведения (AJ): при Da = 0.136 м AJ = 172 · 10⁹ А², м²

Определим допустимую плотность тока в обмотке статора, с учётом линейной нагрузки двигателя

$$J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{172 \cdot 10^9}{21822.0}$$

$$J_1 = 7.88 \times 10^6 \text{ А/м}^2$$

Предварительно сечение эффективного проводника определим по ф-ле

$$q_{\text{эф}} = \frac{I_1}{a \cdot J_1} = \frac{2.19}{7.88 \cdot 10^6} = 2.78 \text{e-}7$$

$$q_{\text{эф}} = 2.78 \times 10^{-7} \text{ м}^2$$

принимаем n_{эл} = 1 тогда

$$q_{\text{эл}} = \frac{q_{\text{эф}}}{n_{\text{эл}}} = \frac{2.78 \text{e-}7}{1} = 2.78 \times 10^{-7} \text{ м}^2$$

Обмоточный провод выбираем по таблице, приведенной в приложении к методике

$$q_{\text{эл}} = 0.283 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad d_{\text{из}} = 0.655 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad d_{\text{эл}} = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$q_{\text{эф}} = q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}} = 0.283 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2$$

Уточним плотность тока в обмотке:

$$J_1 = \frac{I_1}{a \cdot q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}}} = \frac{2.19}{0.283 \cdot 10^{-6}} = 7.74 \text{e}6$$

$$J_1 = 7.74 \times 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

1.3 Расчёт размеров зубцовой зоны статора и воздушного зазора.

Размеры пазов в электрических машинах должны быть выбраны таким образом, чтобы, во-первых, площадь паза соответствовала количеству и размерам размещаемых в нём проводников обмотки с учётом всей изоляции и во-вторых, чтобы значения индукции в зубцах и ярме статора находились в определённых пределах, зависящих от типа, мощности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника.

В связи с тем, что обмоточный провод круглого сечения, то он может быть уложен в пазы произвольной конфигурации, поэтому размеры зубцовой зоны при вспынной обмотке выбираем таким образом, чтобы зубцы имели не параллельные грани. Такие зубцы имеют непостоянное, изменяющееся с высотой зубца поперечное сечение, индукция в них также меняется и магнитное напряжение зубцов с не параллельными гранями оказывается больше, чем магнитное напряжение не трапециидальных зубцов при том же среднем значении индукции в них.

Выбираем трапецеидальный паз статора, показанный на рисунке 1.

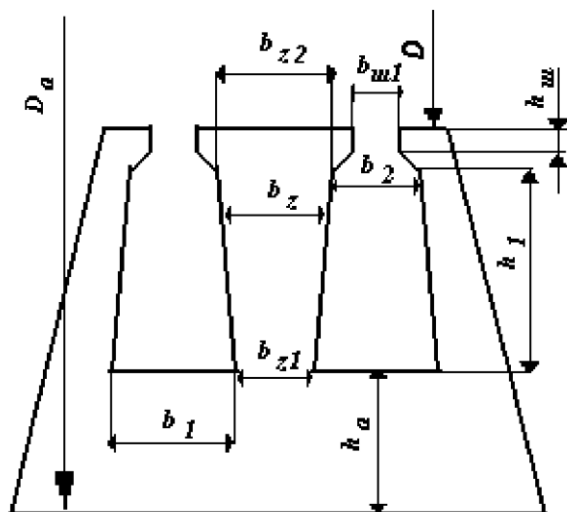


Рис 1. Паз статора

Предварительно для $2r=6$ выбираем допустимые значения индукции :

Ярмо статора: (1.4 – 1.6)

$$B_a = 1.6 \quad T_L$$

Зубцы статора при постоянном сечении: (1.6 – 1.9)

$$B_{z1} = 1.9 \text{ Тл}$$

Коэффициент заполнения сердечника сталью:

$$K_c = 0.97$$

Определим ширину зубцов статора.

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1}{B_{z1} \cdot K_c} = \frac{0.796 \cdot 0.00843}{1.9 \cdot 0.97} = 0.00364 \text{ м}$$

$$b_{z1} = 3.64 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Определим высоту ярма статора .

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{\delta} \cdot K_c} = \frac{0.00159}{2 \cdot 1.6 \cdot 0.062 \cdot 0.97} = 0.00826 \text{ м}$$

$$h_a = 0.0083 \text{ м}$$

Размеры паза в штампе принимаем высоту шлица.

$$h_{ш.} = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

ширину шлица паза выберем из таблицы

$$b_{ш.} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Найдём размеры паза в штампе:

$$h_{\Pi} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0.136 - 0.0966}{2} - 0.00826 = 0.011 \text{ м}$$

Максимальная ширина паза

$$b_1 = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{\Pi})}{Z_1} \right] - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (0.0966 + 2 \cdot 0.0114)}{36} - 0.00364 = 0.00678 \text{ м}$$

$$b_1 = 6.78 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Меньшая ширина паза

$$b_{2.} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{ш.} - b_{ш.}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot (0.0966 + 2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}) - 36 \cdot 0.00364}{36 - \pi} = 0.00506 \text{ м}$$

$$b_{2.} = 5.06 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Клиновья часть паза

$$h_{1.} = h_{\Pi} - \left(h_{ш.} + \frac{b_{2.} - b_{ш.}}{2} \right) = 0.0114 - \left(0.5 \cdot 10^{-3} + \frac{0.00506 - 3 \cdot 10^{-3}}{2} \right) = 0.00987 \text{ м}$$

$$h_{1.} = 0.0099 \text{ м}$$

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку подсчитам по ф-ле:

$$\Delta b_{\Pi} = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ и } \Delta h_{\Pi} = 0.1 \cdot 10^{-3} - \text{величина припусков, взятая по таблицам}$$

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_{\Pi} = 0.00678 - 0.1 \cdot 10^{-3} = 0.00668 \text{ м}$$

$$b'_1 = 0.0067 \text{ м}$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_{\Pi} = 0.00987 - 0.1 \cdot 10^{-3} = 0.00977 \text{ м}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_{\Pi} = 0.00506 - 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$b'_2 = 0.005 \text{ м}$$

Односторонняя толщина изоляции в пазу, так же берется из соответствующих таблиц.

$$b_{\text{из}} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу подсчитаем по ф-ле:

$$S_{\text{из}} = b_{\text{из}} \cdot (2 \cdot h_{\Pi} + b_1 + b_2) = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 0.0114 + 0.00678 + 0.00506) = 0.00000693 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{из}} = 6.93 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения, оставшаяся для размещения проводников в обмотке:

$$S_{\Pi} = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_1 - S_{\text{из}} = \frac{0.00668 + (0.00506 - 0.1 \cdot 10^{-3})}{2} \cdot 0.00977 - 0.00000693 = 0.000049 \text{ м}^2$$

$$S_{\Pi} = 4.99 \times 10^{-5} \text{ м}^2$$

Подсчитаем коэффициент заполнения паза по ф-ле :

$$k_3 = \frac{d_{\text{из}}^2 \cdot n_{\text{эл}} \cdot U_{\Pi}}{S_{\Pi}} = \frac{(0.655 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 84}{0.0000499} = 0.72$$

Коэффициент заполнения паза входит в область допустимых пределов $k_3=0,7-0.74$, рекомендованных для механизированной укладки обмоток.

1.4 Расчёт ротора.

Число пазов ротора следует выбирать особенно тщательно. Это объясняется тем, что в поле воздушного зазора машины помимо основной присутствует целый спектр гармоник более высокого порядка, поэтому ток в стержнях обмотки имеет сложный гармонический состав.

В результате взаимодействия токов и полей высших гармоник возникают электромагнитные моменты, которые при неблагоприятном соотношении Z_1 и Z_2 могут существенно ухудшать механическую характеристику двигателя, так как момент на валу машины является суммой моментов, обусловленных всеми взаимодействующими гармониками.

Исследования, проведённые для изучения влияния соотношений чисел зубцов на статоре и роторе на кривую момента, а также на шумы и вибрации, позволили определить наилучшие соотношения Z_1 и Z_2 для короткозамкнутых двигателей с различными числами $2p$.

Число пазов ротора найдём из таблицы рекомендуемых значений при $Z_1 = 36$

Выбираем значение $Z_2 < Z_1$ т.к. с увеличением Z_2 стержнях ротора уменьшается и их сечения становятся малыми.

$$Z_2 = 33$$

Внешний диаметр ротора рассчитаем по ф-ле:

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0.0966 - 2 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} = 0.0961 \quad \text{м}$$

$$D_2 = 0.0961 \quad \text{м}$$

Длина ротора принимается равной длине статора

$$l_2 = l_\delta \quad l_2 = 0.062 \quad \text{м}$$

Зубцовое деление ротора.

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 0.0961}{33} = 0.00915$$

Значение коэффициента k_B возьмём из приведенной в методике таблицы

$$k_B = 0.23$$

Внутренний диаметр ротора равен диаметру вала, так как сердечник непосредственно насажен на вал и может быть определён по формуле:

$$D_B = k_B \cdot D_a = 0.23 \cdot 0.136 = 0.0313 \quad \text{м}$$

$$D_j = D_B$$

Значение коэффициента k_i возьмём из кривой на

$$k_i = 0.2 + 0.8 \cdot \cos \phi = 0.2 + 0.8 \cdot 0.72 = 0.776$$

Значение коэффициента приведения токов n подсчитаем по ф-ле:

$$\nu_i = \frac{2 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot K_{об1}}{Z_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 504.0 \cdot 0.966}{33} = 88.5$$

Значение тока в стержне ротора подсчитаем по ф-ле:

$$I_2 = k_i \cdot \nu_i \cdot I_1 = 0.776 \cdot 88.5 \cdot 2.19 = 150.0 \text{ А}$$

Плотность тока в стержнях ротора машин закрытого обдуваемого исполнения примем в пределах рекомендуемого диапазона $(2.5 - 3.5) \cdot 10^6$.

$$J_2 = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

Найдём сечение стержней

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{150.0}{3 \cdot 10^6} = 0.00005 \text{ м}^2$$

$$q_c = 5 \times 10^{-5} \text{ м}^2$$

Выбираем грушевидные полузакрытые пазы ротора.

$$b_{ш2} = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad h_{ш2} = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Значение допустимой индукции выберем из рекомендуемого диапазона $(1.7 - 1.95)$:

$$B_{z2} = 1.7$$

Ширину зубцов ротора определим по ф-ле:

$$b_{z2} = \frac{B_\delta \cdot t_2}{B_{z2} \cdot K_c} = \frac{0.796 \cdot 0.00915}{1.7 \cdot 0.97} = 0.00442 \text{ м}$$

$$b_{z2} = 0.0044 \text{ м}$$

Размеры паза рассчитаем исходя из условия постоянства ширины зубцов ротора.

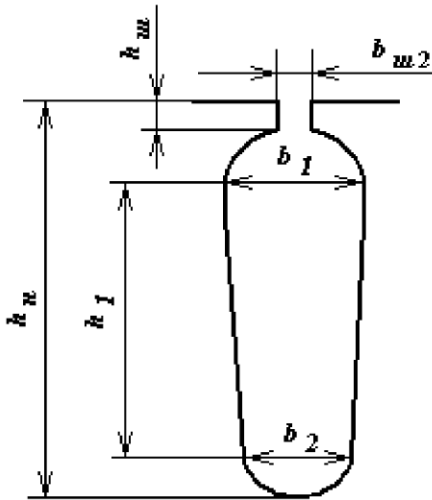


Рис 2. Паз ротора

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{w2}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{\pi + Z_2} = \frac{\pi \cdot (0.0961 - 2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3}) - 33 \cdot 0.00442}{\pi + 33} = 0.00423 \quad \text{м}$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2} \right) - 4 \cdot q_c}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{0.00423^2 \cdot \left(\frac{33}{\pi} + \frac{\pi}{2} \right) - 4 \cdot 0.00005}{\frac{33}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = 0.00134 \quad \text{м}$$

$$h_1 = (b_1 - b_2) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} = (0.00423 - 0.00134) \cdot \frac{33}{2 \cdot \pi} = 0.0152 \quad \text{м}$$

Полная высота паза равна:

$$h_{п2} = h_{w2} + \frac{b_1}{2} + h_1 + \frac{b_2}{2} = 0.5 \cdot 10^{-3} + \frac{0.00423}{2} + 0.0152 + \frac{0.00134}{2} = 0.0185 \quad \text{м}$$

Уточним площадь сечения стержня.

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_1 = \frac{\pi}{8} \cdot (0.00423^2 + 0.00134^2) + \frac{1}{2} \cdot (0.00423 + 0.00134) \cdot 0.0152 =$$

$$q_c = 5.01 \times 10^{-5} \quad \text{м}^2$$

Плотность тока в стержне.

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} = \frac{150.0}{0.0000501} = 2.99 \times 10^6 \quad \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

Выбираем короткозамкнутые кольца

Токи в кольце найдём по ф-ле, где

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2}\right) = 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot 3}{33}\right) = 0.563$$

$$I_{\text{кл}} = \frac{I_2}{\Delta} = \frac{150.0}{0.563} = 266.0 \quad \text{А}$$

Плотность тока в замыкающих кольцах выберем равной:

$$J_{\text{кл}} = 0.85 \cdot J_2 = 0.85 \cdot 2.99 \text{е6} = 2.54 \text{е6}$$

$$J_{\text{кл}} = 2.54 \times 10^6 \quad \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

Площадь их поперечного сечения подсчитаем по ф-ле:

$$q_{\text{кл}} = \frac{I_{\text{кл}}}{J_{\text{кл}}} = \frac{266.0}{2.54 \text{е6}} = 0.000105$$

$$q_{\text{кл}} = 1.05 \times 10^{-4} \quad \text{м}^2$$

Размеры замыкающих колец найдём из уравнений:

$$b_{\text{кл}} = 1.25 \cdot h_{\text{п2}} = 1.25 \cdot 0.0185 = 0.023 \text{ м}$$

$$a_{\text{кл}} = \frac{q_{\text{кл}}}{b_{\text{кл}}} = \frac{0.000105}{0.0231} = 0.00455 \text{ м}$$

$$q_{\text{кл}} = b_{\text{кл}} \cdot a_{\text{кл}} = 0.0231 \cdot 0.00455 = 0.000105 \text{ м}^2$$

$$D_{\text{ксп}} = D_2 - b_{\text{кл}}$$

$$D_{\text{ксп}} = 0.073 \quad \text{м}$$

1.5 Расчёт намагничивающего тока.

Найдём индукцию в зубцах статора и ротора

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1}{b_{z1} \cdot K_c} = \frac{0.796 \cdot 0.00843}{0.00364 \cdot 0.97} = 1.9 \quad \text{Тл}$$

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2}{b_{z2} \cdot K_c} = \frac{0.796 \cdot 0.00915}{0.00442 \cdot 0.97} = 1.7 \quad \text{Тл}$$

Индукцию в ярме статора находится по ф-ле:

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot l_\delta \cdot K_c} = \frac{0.00159}{2 \cdot 0.00826 \cdot 0.062 \cdot 0.97} = 1.6 \text{ Тл}$$

Расчётная высота ярма ротора:

$$h'_j = \left(\frac{D_2}{2} - h_{п2} \right) \cdot \frac{2+p}{3.2 \cdot p} = \left(\frac{0.0961}{2} - 0.0185 \right) \cdot \frac{2+3}{3.2 \cdot 3} = 0.0154 \text{ м}$$

Индукцию в ярме ротора:

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h'_j \cdot l_\delta \cdot K_c} = \frac{0.00159}{2 \cdot 0.0154 \cdot 0.062 \cdot 0.97} = 0.858 \text{ Тл}$$

$$\gamma = \frac{\left(\frac{b_{ш.}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_{ш.}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{3 \cdot 10^{-3}}{0.25 \cdot 10^{-3}} \right)^2}{5 + \frac{3 \cdot 10^{-3}}{0.25 \cdot 10^{-3}}} = 8.47$$

$$\gamma_2 = \frac{\left(\frac{b_{ш2}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_{ш2}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.25 \cdot 10^{-3}} \right)^2}{5 + \frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.25 \cdot 10^{-3}}} = 0.571$$

Найдём коэффициент воздушного зазора

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \cdot \delta} = \frac{0.00843}{0.00843 - 8.47 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3}} = 1.34$$

$$k_{\delta 2} = \frac{t_2}{t_2 - \gamma_2 \cdot \delta} = \frac{0.00915}{0.00915 - 0.571 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3}} = 1.02$$

$$k_\delta = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1.34 \cdot 1.02 = 1.37$$

Расчётное напряжение воздушного зазора ищется по ф-ле:

$$F_\delta = B_\delta \cdot \delta \cdot k_\delta \cdot 1.59 \cdot 10^6 = 0.796 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} \cdot 1.37 \cdot 1.59 \cdot 10^6 = 4 \text{ А0}$$

Расчётная высота зубца статора.

$$h_{z1} = h_{\pi} \quad h_{z1} = 0.0114$$

$$h_{z2} = h_{\pi 2} - 0.1 \cdot b_2 = 0.0185 - 0.1 \cdot 0.00134 = 0.0184 \quad \text{м}$$

Напряжённость поля в зубцах находим по таблице для стали 2013 по известным значениям индукции :

$$\begin{array}{ll} B_{z1} = 1.9 & \text{Тл} \\ H_{z1} = 1000 & \frac{\text{А}}{\text{м}} \end{array} \quad \begin{array}{ll} B_{z2} = 1.7 & \text{Тл} \\ H_{z2} = 1800 & \frac{\text{А}}{\text{м}} \end{array}$$

Магнитные напряжения зубцовых зон статора по ф-ле:

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 0.0114 \cdot 1000 = 22.8 \quad \text{А}$$

Магнитные напряжения зубцовых зон ротора:

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 0.0184 \cdot 1800 = 66.2 \quad \text{А}$$

Найдём коэффициент насыщения зубцовой зоны

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_{\delta}} = 1 + \frac{22.8 + 66.2}{433.0} = 1.206$$

$$k_z = 1.2$$

Полученное значение коэффициента насыщения зубцовой зоны соответствует рекомендованным значениям. (1.2 – 1.6)

La-длина средней магнитной линии ярма статора рассчитывается по ф-ле:

$$L_a = \pi \cdot \frac{(D_a - h_a)}{2 \cdot p} = \pi \cdot \frac{0.136 - 0.00826}{2 \cdot 3} = 0.0669 \quad \text{м}$$

Напряжённость поля H_a при индукции B_a для стали 2013 найдём по соответствующей таблице, приведенной в методике расчета.

$$B_a = 1.6 \quad H_a = 400 \quad \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Магнитное напряжение ярма статора рассчитывается по ф-ле:

$$F_a = L_a \cdot H_a = 0.0669 \cdot 400 = 26.8 \quad \text{А}$$

Высота спинки ротора:

$$h_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{п2} = \frac{0.0961 - 0.0313}{2} - 0.0185 = 0.0139 \quad \text{м}$$

Длина средней магнитной линии потока в ярме ротора:

$$L_j = \frac{(D_B + h_j) \cdot \pi}{2 \cdot p} = \frac{(0.0313 + 0.0139) \cdot \pi}{2 \cdot 3} = 0.0237 \quad \text{м}$$

Напряженность поля H_j при индукции B_j для стали 2013 найдем по таблице

$$B_j = 0.858 \text{ Тл} \quad H_j = 13 \quad \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Магнитное напряжение ярм ротора рассчитывается по ф-ле:

$$F_j = L_j \cdot H_j = 0.0237 \cdot 13 = 0.308 \text{ А}$$

Магнитное напряжение на пару полюсов:

$$F_{ц} = F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 433.0 + 22.8 + 66.2 + 26.8 + 0.308 = 549.0 \quad \text{А}$$

Находим коэффициент насыщения магнитной цепи.

$$k_{\mu} = \frac{F_{ц}}{F_{\delta}} = \frac{549.0}{433.0} = 1.27$$

Намагничивающий ток рассчитывается по ф-ле:

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F_{ц}}{0.9 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot K_{об1}} = \frac{3 \cdot 549.0}{0.9 \cdot 3 \cdot 504.0 \cdot 0.966} = 1.25 \quad \text{А}$$

Для проверки найдём относительное значение намагничивающего тока

$$\Gamma_{\mu} = \frac{I_{\mu}}{I_1} = \frac{1.25}{2.19} = 0.571 \quad \text{А}$$

Значение Γ_μ служит критерием правильности произведенного расчета размеров и обмотки двигателя: если значение Γ_μ меньше 0,2, то это означает, что размеры машины завышены и активные материалы недоиспользованы. Если Γ_μ больше 0,4 то габариты выбраны меньшими, чем следовало и двигатель будет иметь низкий КПД. Но в двигателях мощностью менее 2-3 кВт намагничивающий ток может достигать значений 0,5-0,6, несмотря на правильно выбранные размеры. Это объясняется относительно большим значением магнитного напряжения воздушного зазора, характерным для двигателей малой мощности. Полученное значение Γ_μ соответствует рекомендованному.

1.6 Параметры рабочего режима.

Параметрами асинхронной машины называют активные и индуктивные сопротивления обмоток статора x_1, r_1 , ротора x_2, r_2 , сопротивление взаимной индуктивности x_{12} и расчётное сопротивление r_{12} , введением которого учитывают влияние потерь в стали статора на характеристики двигателя.

Известные из общей теории электрических машин схемы замещения фазы асинхронной машины, основанные на приведении процессов во вращающейся машине к неподвижной (рис.3а). Физические процессы в асинхронной машине более наглядно отражает схема, изображённая на рисунке 3б.

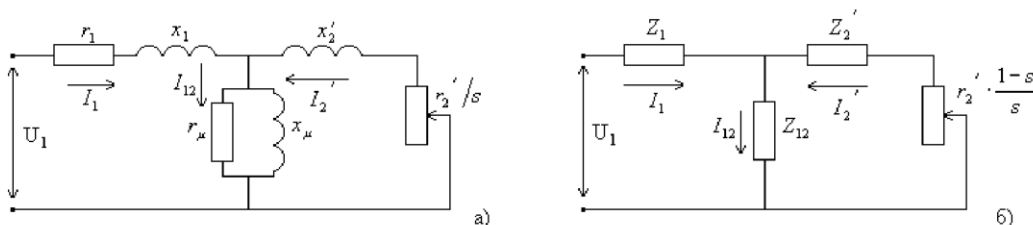


Рис 3 Схемы замещения асинхронной машины

Найдём среднюю ширину катушки используя ф-лу:

$$b_{\text{кт}} = \pi \cdot \frac{(D + h_{\text{п}})}{2 \cdot p} = \pi \cdot \frac{0.0966 + 0.0114}{2 \cdot 3} = 0.0 \text{ м}$$

Значения коэффициентов $K_{\text{л}}$ и $K_{\text{выл}}$ выбираем из таблиц при числе полюсов $2p=6$

$$K_{\text{л}} = 1.4 \quad K_{\text{выл}} = 0.5$$

Длину вылета прямолинейной части катушек, для выпнй обмотки выбираем равной :

$$B = 0.01 \text{ м}$$

Для катушки насыпной обмотки статора вылет лобовых частей обмотки равен:

$$l_{\text{выл}} = K_{\text{выл}} \cdot b_{\text{КТ}} + B = 0.5 \cdot 0.0565 + 0.01 = 0.0382 \text{ м}$$

Длина лобовой части насыпной обмотки находится по ф-ле

$$l_{\pi} = K_{\pi} \cdot b_{\text{КТ}} + 2 \cdot B = 1.4 \cdot 0.0565 + 2 \cdot 0.01 = 0.0991 \text{ м}$$

Длина пазовой части равна конструктивной длине сердечников машины.

$$l_{\pi} = l_{\delta} = 0.062 \text{ м}$$

Среднюю длину витка найдём по ф-ле:

$$l_{\text{ср}} = 2 \cdot (l_{\pi} + l_{\pi}) = 2 \cdot (0.062 + 0.0991) = 0.322 \text{ м}$$

Общая длина проводников фазы обмотки

$$L_{\text{ср}} = l_{\text{ср}} \cdot w_1 = 0.322 \cdot 504.0 = 162.0 \text{ м}$$

Для меди удельное сопротивление находим по таблице

$$\rho_{75\text{с}} = \frac{10^{-6}}{47} \quad \rho_{75\text{с}} = 2.128 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Тогда активное сопротивление фазы обмотки статора r_1 определим по расчётной ф-ле:

$$r_1 = \rho_{75\text{с}} \cdot \frac{L_{\text{ср}}}{q_{\text{эф}} \cdot a} = \frac{10^{-6}}{47} \cdot \frac{162.0}{0.283 \cdot 10^{-6}} = 12.2 \text{ Ом}$$

Тогда относительное значение определим исходя из ф-лы:

$$r'_1 = r_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 12.2 \cdot \frac{2.19}{220} = 0.121 \text{ Ом}$$

Подсчитаем сопротивление стержня.

Для алюминиевой обмотки ротора удельное сопротивление по таблице равно:

$$\rho_{75\text{р}} = \frac{10^{-6}}{21.5} = 4.6512 \times 10^{-8} \quad \rho_{75\text{р}} := 4.6512 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$r_{\text{с}} = \rho_{75\text{р}} \cdot \frac{l_{\delta}}{q_{\text{с}}} = 4.6512 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0.062}{0.0000501} = 0.000057 \text{ Ом}$$

Средний диаметр замыкающих колец вычислим по ф-ле:

$$D_{\text{кл.ср}} = D_2 - b_{\text{кл}} = 0.0961 - 0.0231 = 0.07 \text{ м}$$

Сопротивление участка замыкающего кольца найдём исходя из ф-лы

$$r_{\text{кл}} = \rho_{75\text{p}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{кл.ср}}}{Z_2 \cdot q_{\text{кл}}} = 4.6512 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\pi \cdot 0.073}{33 \cdot 0.000105} = 0.00000308 \text{ Ом}$$

Тогда активное сопротивление фазы обмотки ротора r_2 определим как

$$r_2 = r_c + 2 \cdot \frac{r_{\text{кл}}}{\Delta^2} = 0.0000576 + 2 \cdot \frac{0.00000308}{0.563^2} = 0.000077 \text{ Ом}$$

$$r_2 = 0.000077 \text{ Ом}$$

Для дальнейших расчётов сопротивление r_2 приведём к числу витков первичной обмотки

$$r'_2 = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m_1 \cdot (w_1 \cdot K_{\text{об1}})^2}{Z_2} = 0.000077 \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (504.0 \cdot 0.966)^2}{33} = 6.64 \text{ Ом}$$

$$r'_2 = 6.64 \text{ Ом}$$

Тогда относительное значение определим исходя из ф-лы:

$$r'_{2.} = r'_2 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 6.64 \cdot \frac{2.19}{220} = 0.0661 \text{ Ом}$$

Выберем формулу для расчёта коэффициента магнитной проводимости пазового рассеяния обмоток, считая что

$$b = b_2, \quad h_3 = h_1, \quad h_{\text{ш.}} = 5 \times 10^{-4} \text{ м}, \quad b_{\text{ш.}} = 3 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$h_1 = \frac{b - b_{\text{ш.}}}{2} = \frac{0.00506 - 3 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.00103 \text{ м}$$

$$h_1 = 1.03 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$\lambda_{\Pi} = \frac{h_3}{3 \cdot b} + \left(\frac{3 \cdot h_1}{b + 2 \cdot b_{\text{ш.}}} + \frac{h_{\text{ш.}}}{b_{\text{ш.}}} \right) = \frac{0.00987}{3 \cdot 0.00506} + \frac{3 \cdot 0.00103}{0.00506 + 2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} + \frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} = 1.1$$

$$\lambda_{\Pi} = 1.1$$

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния найдём исходя из ф-лы:

$$\lambda_{\pi} = 0.34 \cdot \frac{q}{l_{\delta}} \cdot (l_{\pi} - 0.64 \cdot \beta \cdot \tau) = 0.34 \cdot \frac{2.0}{0.062} \cdot (0.0991 - 0.64 \cdot 0.0506) = 0.732$$

Определим значения коэффициентов k_{β} , $\beta_{ск}$

$$k_{\beta} = 0.25 \cdot (1 + 3) = 1$$

Значение коэффициента $k'_{ск}$ определим по кривым приведенным в методике, исходя из соотношений.

$$\frac{t_2}{t_1} = 1.0854 \quad \beta_{ск} = 1 \quad k'_{ск} = 1.6$$

Значение коэффициента ξ

$$\xi = 2 \cdot k'_{ск} \cdot k_{\beta} - \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \cdot K_{обл}^2 \cdot (\beta_{ск}^2 + 1) = 2 \cdot 1.6 - \left(\frac{0.00915}{0.00843} \right)^2 \cdot 0.966^2 \cdot (1^2 + 1) = 1.001$$

Рассчитаем коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния для обмоток статора .

$$\lambda_d = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = \frac{0.00843}{12 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} \cdot 1.37} \cdot 1.001 = 2.05$$

$$x_1 = \left[15.8 \cdot \left(\frac{f_1}{100} \right) \cdot \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \right] \cdot \frac{l_{\delta}}{p \cdot q} \cdot (\lambda_{\pi} + \lambda_{\Pi} + \lambda_d) = 15.8 \cdot \frac{60}{100} \cdot \left(\frac{504.0}{100} \right)^2 \cdot \frac{0.062}{3 \cdot 2.0} \cdot (0.732 + 1.1 + 2.05) = 9.66$$

Относительное значение должно быть в пределах 0.08-0.14

$$x_{1'} = x_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 9.66 \cdot \frac{2.19}{220} = 0.0962 \quad \text{Ом}$$

$x_{1'} = 0.096$ соответствует рекомендованному диапазону

Формулу для расчёта коэффициента магнитной проводимости пазового рассеяния короткозамкнутых роторов выберем из приведенной в методике таблицы.

$$h_1 = h_{\Pi 2} - \frac{b_1}{2} - \frac{b_2}{2} = 0.0185 - \frac{0.00423}{2} - \frac{0.00134}{2} = 0.0157 \quad \text{м}$$

$$h_0 = h_1 + 0.4 \cdot b_2 = 0.0157 + 0.4 \cdot 0.00134 = 0.0162 \text{ м}$$

$$\lambda_{\pi 2} = \left[\frac{h_0}{3 \cdot b} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{ш2}}{2 \cdot b} \right] + \frac{h_{ш2}}{b_{ш2}} = \frac{0.0162}{3 \cdot 0.00423} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 0.00423^2}{8 \cdot 0.0000501} \right)^2 + 0.66 - \frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0.00423} + \frac{0.00134}{0.00423}$$

$$\lambda_{\pi 2} = 2.54$$

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния найдём исходя из ф-лы

$$\lambda_{\pi 2} = \left(\frac{2.3 \cdot D_{\text{кл.ср}}}{Z_2 \cdot l_{\delta} \cdot \Delta^2} \right) \cdot \log \left(\frac{4.7 \cdot D_{\text{кл.ср}}}{2 \cdot a_{\text{кл}} + b_{\text{кл}}} \right) = \frac{2.3 \cdot 0.073}{33 \cdot 0.062 \cdot 0.563^2} \cdot \log \left(\frac{4.7 \cdot 0.073}{2 \cdot 0.00455 + 0.0231} \right) = 0.266$$

Значение коэффициента Δz находим по кривым рисунку, исходя из размерных соотношений.

$$\Delta_z = 0.02$$

$$\frac{b_{ш2}}{t_2} = \frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.00915} = 0.1$$

$$\frac{b_{ш2}}{\delta} = \frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.25 \cdot 10^{-3}} = 2$$

Тогда коэффициент ξ равен

$$\xi = \left[1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2} \right)^2 \right] - \frac{\Delta_z}{1 - \left(\frac{p}{Z_2} \right)^2} = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 3}{33} \right)^2 - \frac{0.02}{1 - \left(\frac{3}{33} \right)^2} = 0.996$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки короткозамкнутого ротора:

$$\lambda_{д2} = \frac{t_2}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = \frac{0.00915}{12 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} \cdot 1.37} \cdot 0.996 = 2.22$$

Коэффициент проводимости скоса, учитывающий влияние на ЭДС обмотки ротора скоса пазов найдём по ф-ле:

$$\lambda_{ск} = \frac{t_2 \cdot (\beta_{ск})^2}{(12 \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot k_{\mu})} = \frac{0.00915 \cdot 1^2}{12 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} \cdot 1.37 \cdot 1.27} = 1.75$$

Расчитаем индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора

$$x_2 = (7.9 \cdot f_1 \cdot l_{\delta} \cdot 10^{-6}) \cdot (\lambda_{п2} + \lambda_{д2} + \lambda_{\pi 2} + \lambda_{ск}) = 7.9 \cdot 60 \cdot 0.062 \cdot 10^{-6} \cdot (2.54 + 2.22 + 0.266 + 1.75) = 0.000199$$

$$x_2 = 1.99 \times 10^{-4} \quad \text{Ом}$$

Приведём полученное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора к числу витков первичной обмотки

$$x'_2 = x_2 \cdot \frac{4 \cdot m_1 \cdot (w_1 \cdot K_{об1})^2}{Z_2} = 0.000199 \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (504.0 \cdot 0.966)^2}{33} = 17.2 \quad \text{Ом}$$

Относительное значение x_2 будет равно:

$$x'_{2.} = x'_2 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 17.2 \cdot \frac{2.19}{220} = 0.171 \quad \text{Ом}$$

1.7 Расчёт потерь

Удельные потери в стали А.Д. значение коэффициента b при толщине листов 0,5 мм выбираем из таблицы для стали 2013

$$\rho_{\frac{0}{50}} = 2.5 \quad (2.5 - 2.6)$$

Коэффициенты $k_{да}$ и $k_{дз}$ учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов.

$$k_{да} = 1.6 \quad k_{дз} = 1.8$$

Удельная масса стали принимается равной:

$$\gamma_c = 7.8 \cdot 10^3 \quad \text{кг/м}^3$$

Массу стали ярма статора определим по ф-ле

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot l_{\delta} \cdot K_c \cdot \gamma_c = \pi \cdot (0.136 - 0.00826) \cdot 0.00826 \cdot 0.062 \cdot 0.97 \cdot 7.8 \cdot 10^3 = 1.55 \text{ кг}$$

Высота ярма статора ищется по ф-ле:

$$h_a = 0.5 \cdot (D_a - D) - h_{\Pi} = 0.5 \cdot (0.136 - 0.0966) - 0.0114 = 0.0083 \quad \text{м}$$

Массу стали зубцов статора определим по ф-ле

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot l_{\delta} \cdot K_c \cdot \gamma_c = 0.0114 \cdot 0.00364 \cdot 36 \cdot 0.062 \cdot 0.97 \cdot 7.8 \cdot 10^3 = 0.701 \quad \text{кг}$$

Основные потери в стали статоров А.Д.:

$$P_{\text{ст.осн}} = \rho_{\frac{0}{50}} \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^{\beta} \cdot \left(B_a^2 \cdot m_a \cdot k_{\text{да}} + k_{\text{дз}} \cdot B_{z1}^2 \cdot m_{z1} \right) = (2.5)_{\frac{0}{50}} \cdot \left(\frac{60}{50} \right)^{1.3} \cdot (1.6^2 \cdot 1.55 \cdot 1.6 + 1.8 \cdot 1.9^2 \cdot 0.701) :$$

$$P_{\text{ст.осн}} = 34.6 \quad \text{Вт}$$

Частота вращения ротора равна:

$$n = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 60}{3} = 1200.0 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Коэффициент учитывающий влияние обработки поверхности головок зубцов ротора на удельные потери:

$$k_{02} := 1.6 \quad (1.4..1.8)$$

Найдём коэффициент В из зависимости $\beta=f(b_{\delta}/\delta)$:

$$\frac{b_{\text{ш2}}}{\delta} = 2 \quad \beta_{02} = 0.1$$

Найдём амплитуду пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора:

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0.1 \cdot 1.37 \cdot 0.796 = 0.1 \cdot 1.37 \cdot 0.796 = 0.1 \text{ Тл}$$

Определим потери приходящиеся на 1м2 поверхности головок зубцов статора по ф-ле:

$$P_{\text{пов2}} = 0.5 \cdot k_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^{1.5} \cdot (B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2 = 0.5 \cdot 1.6 \cdot \left(\frac{36 \cdot 1200.0}{10000} \right)^{1.5} \cdot (0.109 \cdot 0.00843 \cdot 10^3)^2 = 6.06 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Определим полные поверхностные потери ротора:

$$P_{\text{пов2}} = p_{\text{пов2}} \cdot (t_2 - b_{\text{ш2}}) \cdot Z_2 \cdot l_{\delta} = 6.06 \cdot (0.00915 - 0.5 \cdot 10^{-3}) \cdot 33 \cdot 0.062 = 0.107 \quad \text{Вт}$$

Для определения пульсационных потерь вначале находим амплитуду пульсаций в среднем сечении зубцов ротора

$$B_{\text{пул2}} = \frac{\gamma \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{z2} = \frac{8.47 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0.00915} \cdot 1.7 = 0.197 \quad \text{Тл}$$

Определим массу стали зубцов ротора

$$m_{z2} = h_{z2} \cdot b_{z2} \cdot Z_2 \cdot l_{\delta} \cdot K_c \cdot \gamma_c = 0.0184 \cdot 0.00442 \cdot 33 \cdot 0.062 \cdot 0.97 \cdot 7.8 \cdot 10^3 = 1.26 \text{ кг}$$

Пульсационные потери в зубцах ротора

$$P_{\text{пул2}} = 0.11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{пул2}} \right)^2 \cdot m_{z2} = 0.11 \cdot \left(\frac{36 \cdot 1200.0}{1000} \cdot 0.197 \right)^2 \cdot 1.26 = 10.0 \text{ Вт}$$

Сумму добавочных потерь в стали подсчитаем по ф-ле

$$P_{\text{ст.доб.}} = P_{\text{пул2}} + P_{\text{пов2}} = 10.0 + 0.107 = 10 \text{ Вт}$$

Полные потери в стали подсчитаем по ф-ле

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{ст.осн}} + P_{\text{ст.доб.}} = 34.6 + 10.1 = 44.7 \text{ Вт}$$

Определим коэффициент трения K_T по рекомендации для $2p=6$ и Da меньше 0,25 м

$$K_T = 6$$

Механические потери в двигателях с внешним обдувом подсчитываются по ф-ле

$$P_{\text{мех}} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10} \right)^2 \cdot Da^4 = 6 \cdot \left(\frac{1200.0}{10} \right)^2 \cdot 0.136^4 = 29.6 \text{ Вт}$$

Произведём подсчёт добавочных потерь при номинальном режиме.

$$P_{\text{доб.ном.}} := 0.005 \cdot \frac{P_2}{\eta} = 0.005 \cdot \frac{750}{0.72} = 5.21 \text{ Вт}$$

Электрические потери в статоре при Х.Х. приближённо принимают равными

$$P_{\text{элхх}} = m_1 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 1.25^2 \cdot 12.2 = 57.2 \text{ Вт}$$

Реактивная составляющая тока Х.Х. принимается приближённо равной I_{μ}

$$I_{\text{ххр}} = I_{\mu} = 1.25 \text{ А}$$

Активная составляющая тока X.X. находится по ф-ле

$$I_{\text{xxa}} = \left(\frac{P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{элxx}}}{m_1 \cdot U_1} \right) = \frac{44.7 + 29.6 + 57.2}{3 \cdot 220} = 0.1 \text{ A}$$

Ток X.X. двигателя подсчитаем по ф-ле

$$I_{\text{xx}} = \sqrt{I_{\text{xxa}}^2 + I_{\text{xxp}}^2} = \sqrt{0.199^2 + 1.25^2} = 1.27 \text{ A}$$

Коэффициент мощности при X.X. найдём по ф-ле

$$\cos \phi_{\text{X.X.}} = \frac{I_{\text{xxa}}}{I_{\text{xx}}} = \frac{0.199}{1.27} = 0.157$$

1.8 Расчёт рабочих характеристик.

Определим величину последовательно включённых сопротивлений

$$r_{12} = \frac{P_{\text{ст.осн}}}{m_1 \cdot I_{\mu}^2} = \frac{34.6}{3 \cdot 1.25^2} = 7.38 \quad \text{Ом}$$

$$x_{12} = \frac{U_1}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{1.25} - 9.66 = 166.0 \text{ Ом}$$

Подсчитаем активную составляющую коэффициента C1

$$c_{1a} = \frac{r_{12} \cdot (r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (x_1 + x_{12})}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = \frac{7.38 \cdot (12.2 + 7.38) + 166.0 \cdot (9.66 + 166.0)}{7.38^2 + 166.0^2} = 1.06$$

Подсчитаем реактивную составляющую коэффициента C1

$$c_{1p} = \frac{-x_1 \cdot r_{12} + r_1 \cdot x_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = \frac{-9.66 \cdot 7.38 + 12.2 \cdot 166.0}{7.38^2 + 166.0^2} = 0.0708$$

Полное значение C1 найдём исходя из равенства

$$c_1 = \sqrt{c_{1a}^2 + c_{1p}^2} = \sqrt{1.06^2 + 0.0708^2} = 1.06$$

Реактивная составляющая тока синхронного холостого хода находится по ф-ле

$$I_{oa} = \frac{P_{ст.осн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_1} = \frac{34.6 + 3 \cdot 1.25^2 \cdot 12.2}{3 \cdot 220} = 0.139$$

Значения расчётных величин найдём исходя из ф-лы

$$a' = c_{1a}^2 - c_{1p}^2 = 1.06^2 - 0.0708^2 = 1.12$$

$$b' = 2 \cdot c_{1a} \cdot c_{1p} = 2 \cdot 1.06 \cdot 0.0708 = 0.15$$

$$a := c_{1a} \cdot r_1 - c_{1p} \cdot x_1 - b' \cdot x'_2 = 1.06 \cdot 12.2 - 0.0708 \cdot 9.66 - 0.15 \cdot 17.2 = 9.67$$

$$b = c_{1a} \cdot x_1 + c_{1p} \cdot r_1 + a' \cdot x'_2 = 1.06 \cdot 9.66 + 0.0708 \cdot 12.2 + 1.12 \cdot 17.2 = 30.4$$

Потери не меняющиеся при изменении скольжения:

$$P_{ст} + P_{мех} = 44.7 + 29.6 = 74.3 \text{ Вт}$$

$$r'_2 = 0.0661$$

Предварительно принимаем значение номинального скольжения равным:

$$s_H = r'_2 \cdot s_H = 0.0661$$

Проведём расчёт рабочих х-к для

$$I_{1H} = I_1$$

$$i = 1..9$$

$$X_i = b + \frac{b' \cdot r'_2}{s_i}$$

$$R_i = a + \frac{a' \cdot r'_2}{s_i}$$

$$Z_i = \sqrt{(R_i)^2 + (X_i)^2}$$

$$I''_i = \frac{U_1}{Z_i}$$

$$\cos \phi'_i = \frac{R_i}{Z_i}$$

$$\sin\phi'_i = \frac{X_i}{Z_i}$$

$$I_{1a_i} = I_{0a} + I''_i \cdot \cos\phi'_i$$

$$P_{1_i} = 3 \cdot U_1 \cdot I_{1a_i}$$

$$I_{1p_i} = I_{\mu} + I''_i \cdot \sin\phi'_i$$

$$I'_i = c_1 \cdot I''_i$$

$$I_{1_i} = \sqrt{(I_{1a_i})^2 + (I_{1p_i})^2}$$

$$P_{\text{доб}_i} = P_{\text{доб.ном.}} \cdot \left(\frac{I_{1_i}}{I_{1H}} \right)^2$$

$$P_{\text{э}2_i} = 3 \cdot (I'_i)^2 \cdot r'_2$$

$$P_{\text{э}1_i} = 3 \cdot (I_{1_i})^2 \cdot r_1$$

$$P_i = P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{э}1_i} + P_{\text{э}2_i} + P_{\text{доб}_i} \quad \text{-это сумма потерь.}$$

$$P_{2_i} = P_{1_i} - P_i$$

$$\eta_i = 1 - \frac{P_i}{P_{1_i}}$$

$$\cos\phi_i = \frac{I_{1a_i}}{I_{1_i}}$$

Полученные расчетные значения для S в диапазоне 0,0025 до 0,07 сведены в таблицу 1

Построенные по данным таблицы 1.характеристики представлены на рисунке 4

Таблица 1. Рабочие характеристики

№			Скольжение							
			0,0020	0,0050	0,0100	0,0150	0,0200	0,0250	0,0400	0,0650
1	R	Ом	2987,00	1498,00	754,14	505,98	381,90	307,00	47,00	195,79
2	X	Ом	428,55	229,47	129,93	96,75	80,16	70,21	55,28	45,71
3	Z	Ом	3018,00	1516,00	765,25	515,15	390,23	315,38	203,40	132,36
4	I"2	A	0,07	0,15	0,29	0,43	0,56	0,70	1,08	1,66
5	cos(φ"2)		0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,96	0,94
6	sin(φ"2)		0,14	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,27	0,35
7	I1a	A	0,21	0,28	0,42	0,56	0,69	0,82	1,18	1,70
8	I1p	A	1,26	1,27	1,30	1,33	1,37	1,41	1,54	1,82
9	I1	A	1,23	1,30	1,37	1,44	1,53	1,63	1,94	2,49
10	P1	Вт	139,36	186,40	287,72	368,60	455,88	540,57	778,56	1121,20
11	I'	A	0,08	0,15	0,31	0,45	0,60	0,74	1,15	1,47
12	Pэ1	Вт	59,77	62,13	68,27	76,18	85,74	96,83	138,16	227,40
13	Pэ2	Вт	0,12	0,47	1,86	4,11	7,16	10,96	26,34	62,25
14	Pдоб	Вт	1,77	1,84	2,03	2,26	2,54	2,87	4,09	6,74
15	P	Вт	135,87	138,66	146,37	156,76	169,65	184,88	242,82	370,61
16	P2	кВт	3,48	47,74	130,00	212,00	286,00	356,00	536,00	750,00
17	n		0,03	0,26	0,47	0,58	0,63	0,66	0,69	0,67
18	cos(φ)		0,17	0,22	0,31	0,39	0,45	0,50	0,61	0,68

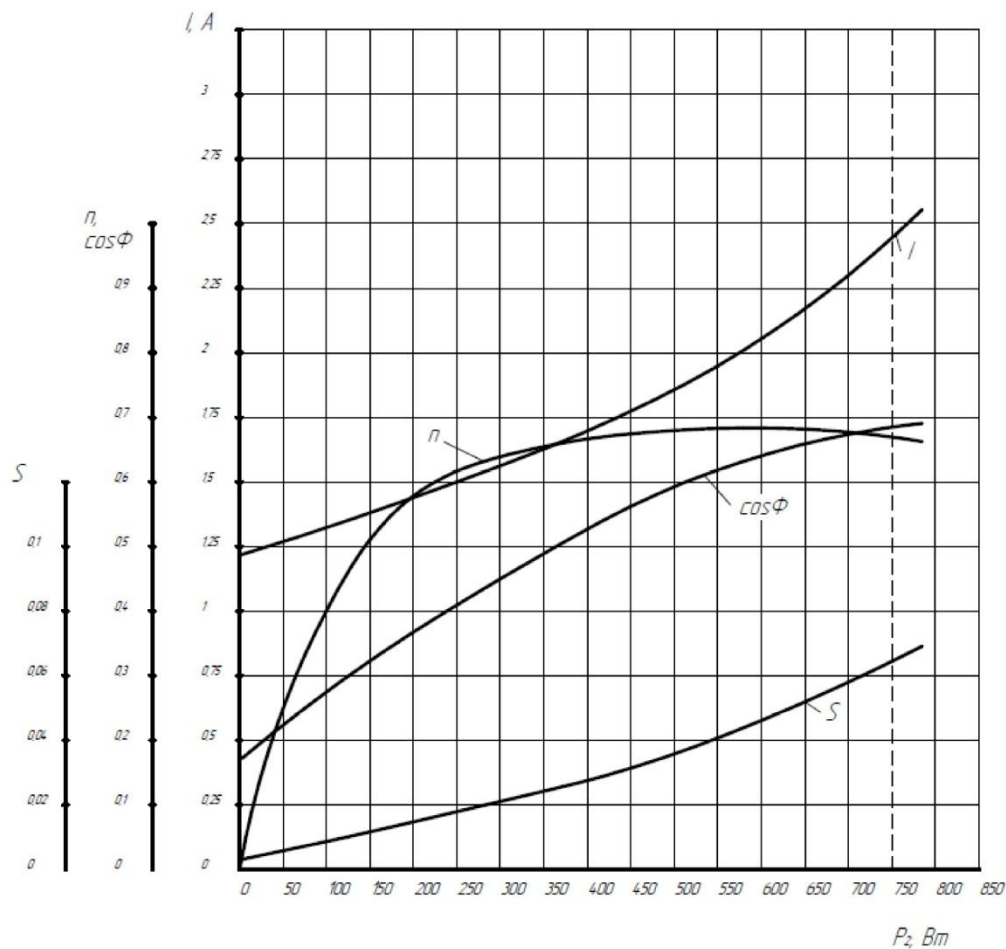
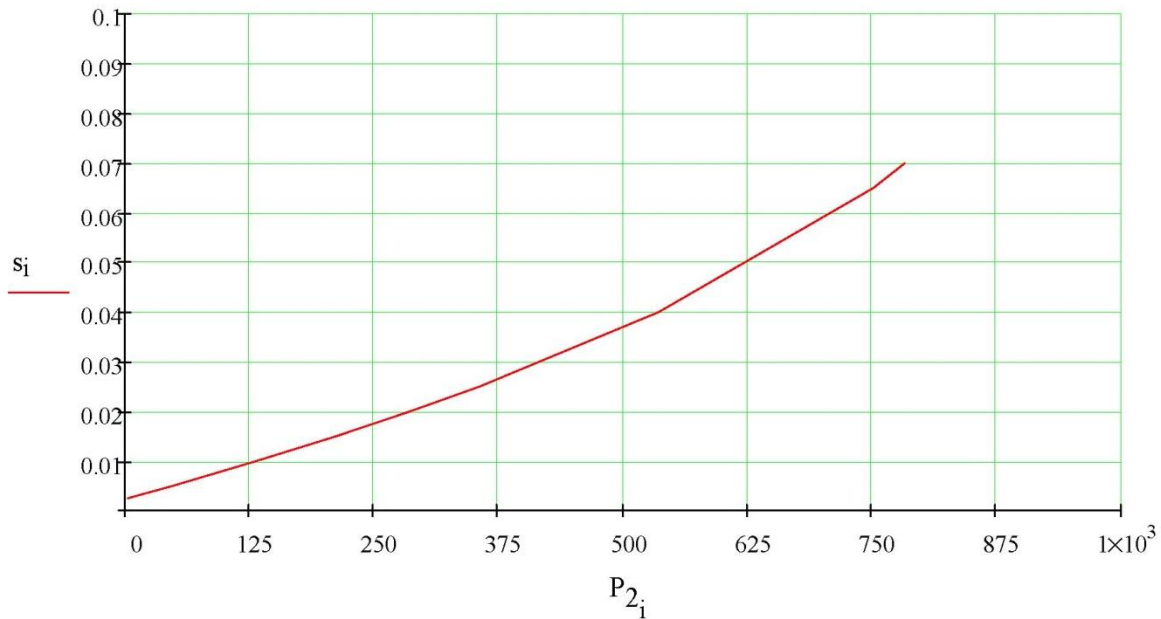


Рис.4 Рабочие характеристики двигателя

После построения кривых уточняем значение номинального скольжения.



$s_H := 0.065$ из характеристики $s=f(P_2)$ для $P_2=750$ Вт(номинальная мощность)

1.9 Расчёт пусковых характеристик.

Рассчитаем точки характеристик соответствующие скольжениям $s=1;0.8;0.5;0.2;0.1$

$s := 1 \quad o := 1..6$

$s_o :=$

1
0.8
0.5
0.4
0.1
0.0001

Подробный расчёт приведён для скольжения $s=1$. Данные расчёта других точек сведены в таблицу 2. Пусковые х-ки представлены на рисунке 5.

Высоту стержня в пазу найдём по ф-ле:

$$h_c = h_{п2} - (h_{ш2}) = 0.0185 - 0.5 \cdot 10^{-3} = 0.018 \text{ м}$$

При литой алюминиевой обмотке ротора и при расчётной температуре $\vartheta=75^{\circ}\text{C}$ приведённая высота стержня подсчитывается по ф-ле

$$\xi_0 = 65.15 \cdot h_c \cdot \sqrt{s_0}$$

$$\xi_0 =$$

1.1727
1.0489
0.8292
0.7417
0.3708
0.0117

Для определения глубины проникновения тока h_r воспользуемся зависимостями изображёнными на приведенных в методике графиках

определим f для. $\xi_1 = 1.1727$

$$\phi = 0.15$$

Исходя из найденного значения ϕ по имеющимся в методике графикам найдём

$$\phi' = 0.95$$

$$h_r = \frac{h_c}{1 + \phi} = \frac{0.018}{1 + 0.15} = 0.01 \text{ м}$$

$$b_r = b_1 - \frac{b_1 - b_2}{h_1} \left(h_r - \frac{b_1}{2} \right) = 0.00423 - \frac{0.00423 - 0.00134}{0.0157} \cdot \left(0.0157 - \frac{0.00423}{2} \right) = 0.00173 \text{ м}$$

Площадь сечения g_r определим исходя из соотношения.

$$g_r = \frac{\pi \cdot b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_r}{2} \cdot \left(h_r - \frac{b_1}{2} \right) = \frac{\pi \cdot 0.00423^2}{8} + \frac{0.00423 + 0.00173}{2} \cdot \left(0.0157 - \frac{0.00423}{2} \right) = 0.0000475$$

$$g_r = 4.75 \times 10^{-5} \text{ мм}^2$$

Коэффициент k_r найдём по отношению площадей всего сечения стержня и сечения ограниченного высотой h_r .

$$k_r = \frac{q_c}{g_r} = \frac{0.0000501}{0.0000475} = 1.05$$

Коэффициент общего увеличения сопротивления фазы ротора под влиянием эффекта вытеснения тока определим исходя из выражения

$$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2} \cdot (k_r - 1) = 1 + \frac{0.0000576}{0.000077} \cdot (1.05 - 1) = 1.04$$

$$K_R = 1.04$$

Активное сопротивление фазы обмотки ротора с учётом вытеснения тока найдём по ф-ле

$$r_{2\xi} = r_2 \cdot K_R = 0.000077 \cdot 1.04 = 0.000080 \text{ Ом}$$

$$r_{2\xi} = 8.01 \times 10^{-5} \text{ Ом}$$

Приведённое активное сопротивление фазы обмотки ротора с учётом вытеснения

$$r'_{2\xi} = r'_2 \cdot K_R = 6.64 \cdot 1.04 = 6.91 \text{ Ом}$$

Коэффициент изменения индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока найдём по ф-ле :

$$\lambda_{\xi\Pi 2} = \left[\frac{h_1}{3 \cdot b} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{\Pi 2}}{2 \cdot b} \right] \cdot \Phi' + \frac{h_{\Pi 2}}{b_{\Pi 2}} = \left[\frac{0.0157}{3 \cdot 4.23 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[1 - \frac{\pi \cdot (4.23 \cdot 10^{-3})^2}{8 \cdot 0.0000501} \right]^2 + 0.66 - \frac{0.0157}{2 \cdot 4.23 \cdot 10^{-3}} \right] \cdot 1.04 + \frac{4.23 \cdot 10^{-3}}{4.23 \cdot 10^{-3}} = 2.4396$$

$$\lambda_{\xi\Pi 2} = 2.4396$$

$$K_x = \frac{\lambda_{\xi\Pi 2} + \lambda_{\pi 2} + \lambda_{д2}}{\lambda_{\Pi 2} + \lambda_{\pi 2} + \lambda_{д2}} = \frac{2.4396 + 0.266 + 2.22}{2.54 + 0.266 + 2.22} = 0.98$$

получим :

$$x'_{2\xi} := x'_2 \cdot K_x \quad x'_{2\xi} = 16.856 \text{ Ом}$$

По ф-лам подсчитаем сопротивления Г-образной ветви схемы

$$R_{\Pi_o} := r_1 + \frac{r'_2 \xi}{s_o}$$

$$X_{\Pi} := x_1 + x'_2 \xi \quad X_{\Pi} = 26.516 \quad \text{Ом}$$

Ток в обмотке ротора вычислим по ф-ле

$$I_{2_o} := \frac{U_1}{\sqrt{(R_{\Pi_o})^2 + X_{\Pi}^2}}$$

$$I_{2_o} =$$

6.731
6.5236
5.9219
5.549
2.5727
0.0032

$$R_{\Pi_o} =$$

19.11
20.8375
26.02
29.475
81.3
6.9112·10 ⁴

Учёт влияния насыщения на параметры. Принимаем для s=1 коэффициент насыщения k_{нас}=1,3 и I₁=I₂ и проводим расчёт для :

$$I_{1_o} := I_{2_o} \quad k_{\text{нас}} := 1.35 \quad (1.25 - 1.4)$$

$$k_{\text{нас}} \cdot I_{1_o} =$$

9.0868
8.8068
7.9946
7.4911
3.4731
0.0043

Определим среднюю МДС обмотки, отнесённую к одному пазу обмотки статора:

$$F_{\Pi, \text{cp}_o} := 0.7 \cdot \frac{k_{\text{нас}} \cdot I_{1_o} \cdot U_{\Pi}}{1} \cdot \left(1 + K_{\text{об1}} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right)$$

Определим значение коэффициента C_N :

$$C_N = 0.64 + 2.5 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}} = 0.64 + 2.5 \cdot \sqrt{\frac{0.25 \cdot 10^{-3}}{0.00843 + 0.00915}} = 0.938$$

По средней МДС рассчитаем фиктивную индукцию потока рассеяния в воздушном зазоре

$$B_{\phi\delta_o} := \frac{F_{п.ср_o} \cdot 10^{-6}}{1.6 \cdot \delta \cdot C_N}$$

$B_{\phi\delta_o} =$	$F_{п.ср_o} =$
2.9247	1097.365
2.8346	1063.551
2.5732	965.4603
2.4111	904.6632
1.1179	419.425
0.0014	0.519

По графику для $B_{\phi\delta}$ находим x_δ .

$$B_{\phi\delta_1} = 2.9247 \quad \text{Тл}$$

$$x_\delta := 0.7$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения найдём

$$b_{ш.} = 2 \cdot 10^{-3} \quad t_1 = 0.0084$$

$$c_1 = (t_1 - b_{ш.}) \cdot (1 - x_\delta) = (0.00843 - 2 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0.7) = 0.00193$$

Для полузакрытого паза найдем:

$$h' := h_{п.} - h_{л.} - h_{ш.} \quad h' = 1.03 \times 10^{-3}$$

$$\Delta\lambda_{п1нас} := \frac{h_{ш.} + 0.58 \cdot h'}{b_{ш.}} \cdot \frac{c_1}{c_1 + 1.5 \cdot b_{ш.}} \Delta\lambda_{п1нас} = 0.2148$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния для статора определим по ф-ле

$$\lambda_{п1нас} := \lambda_{\pi} - \Delta\lambda_{п1нас} = 1.1 - \frac{0.5 \cdot 10^{-3} + 0.58 \cdot (0.0114 - 0.00987 - 0.5 \cdot 10^{-3})}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{0.00193}{0.00193 + 1.5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda_{п1нас} = 0.885$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения вычислим по ф-ле :

$$\lambda_{д1нас} := \lambda_{д} \cdot x_{\delta} \quad \lambda_{д1нас} = 1.435$$

Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора с учётом влияния насыщения подсчитаем:

$$x_{1нас} := x_1 \cdot \frac{\lambda_{п1нас} + \lambda_{д1нас} + \lambda_{\pi}}{\lambda_{\pi} + \lambda_{д} + \lambda_{\pi}} = 9.66 \cdot \frac{0.885 + 2.05 \cdot 0.7 + 0.732}{1.1 + 2.05 + 0.732} = 7.59 \text{ Ом}$$

Для короткозамкнутых роторов дополнительное раскрытие рассчитывается по формуле:

$$c_2 = (t_2 - b_{ш2}) \cdot (1 - x_{\delta}) = (0.00915 - 0.5 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0.7) = 0.0026$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния ротора с учётом влияния насыщения найдём по ф-ле:

$$\Delta\lambda_{п2нас} := \frac{h_{ш2}}{b_{ш2}} \cdot \frac{c_2}{b_{ш2} + c_2} \quad \Delta\lambda_{п2нас} = 0.8387$$

По ф-ле для ротора :

$$\lambda_{п2\xi нас} := \lambda_{\xi п2} - \Delta\lambda_{п2нас} = 2.4396 - \frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.5 \times 10^{-3}} \cdot \frac{0.0026}{0.5 \cdot 10^{-3} + 0.0026} = 1.6$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния ротора с учётом влияния насыщения вычислим по ф-ле:

$$\lambda_{д2нас} = \lambda_{д2} \cdot x_{\delta} = 2.22 \cdot 0.7 = 1.55$$

Приведённое индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учётом влияния тока и насыщения найдём по ф-ле:

$$x'_{2\xi_{\text{нас}}} := x'_2 \cdot \frac{\lambda_{\pi 2 \xi_{\text{нас}}} + \lambda_{\text{д}2 \text{нас}} + \lambda_{\pi 2}}{\lambda_{\text{д}2} + \lambda_{\pi 2} + \lambda_{\pi 2}} = 17.2 \cdot \frac{1.6 + 1.55 + 0.266}{2.22 + 0.266 + 2.54} = 11.7 \quad \text{Ом}$$

Сопротивление взаимной индукции обмоток в пусковом режиме:

$$x_{12\pi} := x_{12} \cdot \frac{F_{\pi}}{F_{\delta}} = 166.0 \cdot \frac{549.0}{433.0} = 210.0 \quad \text{Ом}$$

При этом допущение коэффициента рассчитывается по ф-ле:

$$c_{1\pi.\text{нас}} = 1 + \frac{x_1}{x_{12\pi}} = 1 + \frac{9.66}{210.0} = 1.05$$

Расчёт токов и моментов по ф-ле :

$$X_{\pi} = x_{1\text{нас}} + c_{1\pi.\text{нас}} \cdot x'_{2\xi_{\text{нас}}} = 7.59 + 1.05 \cdot 11.7 = 19.9 \quad \text{Ом}$$

Ток в обмотке ротора вычислим по ф-ле

$$R_{\pi_o} := r_1 + \frac{c_{1\pi.\text{нас}} \cdot r'_{2\xi}}{s_o}$$

$$I'_{2_o} := \frac{U_1}{\sqrt{(R_{\pi_o})^2 + X_{\pi}^2}}$$

$I'_{2_o} =$

7.905
7.5531
6.6048
6.0635
2.527
0.003

$R_{\pi_o} =$

19.4555
21.2694
26.711
30.3388
84.755
$7.2567 \cdot 10^4$

Ток в обмотке статора вычислим по:

$$I_{1o} := I_{2o} \cdot \frac{\sqrt{(R_{\Pi o})^2 + (X_{\Pi} + x_{12\Pi})^2}}{x_{12\Pi} \cdot c_{1\Pi.нас}}$$

$$I_{1o} =$$

8.2715
7.9087
6.9327
6.3768
2.8081
0.9977

Относительное значение :

$$I_{1.o} = \frac{I_{1o}}{I_{1H}}$$

$$I'_{2H} := 1.46 \quad \text{А, при } s_H = 0.065 \quad \text{из табл.1 для номинальной мощности } P.=750 \text{ Вт}$$

$$M_{\Pi.o} = \left(\frac{I'_{2o}}{I'_{2H}} \right)^2 \cdot \left(K_R \cdot \frac{s_H}{s_o} \right)$$

$$M_{\Pi.o} =$$

1.982
2.262
2.767
2.915
2.025
0.003

$$I_{1.o} =$$

3.7769
3.6113
3.1656
2.9118
1.2822
0.4556

$$s_o =$$

1
0.8
0.5
0.4
0.1
1·10 ⁻⁴

$$I'_{2o} =$$

7.905
7.5531
6.6048
6.0635
2.527
0.003

Полученные в результате расчета данные сведены в таблицу 2, пусковые характеристики представлены на рисунке 4.

Таблица 2. Расчет пусковых характеристик

№			Скольжение					
			1,0000	0,8000	0,5000	0,4000	0,1000	0,0001
1	Fнсп	A	1097,000	1063,000	965,000	904,200	418,900	0,520
2	Вфб	Тл	2,920	2,830	2,570	2,409	1,120	0,001
3	Кб		0,820	0,740	0,790	0,820	0,950	0,990
4	с1	мм	1,900	1,700	1,400	1,200	0,320	0,060
5	с2	мм	2,600	2,200	1,800	1,600	0,430	0,080
6	Rп.нас	Ом	19,430	21,240	26,670	29,520	84,570	723,000
7	I"2нас	A	7,920	7,560	6,610	5,540	2,530	0,003
8	I1нас	A	6,730	6,520	5,910	5,540	2,570	0,003
9	M*1	о.е.	1,994	2,275	2,780	2,930	2,040	0,003
10	I*	о.е.	3,380	3,230	2,830	2,606	1,147	0,406

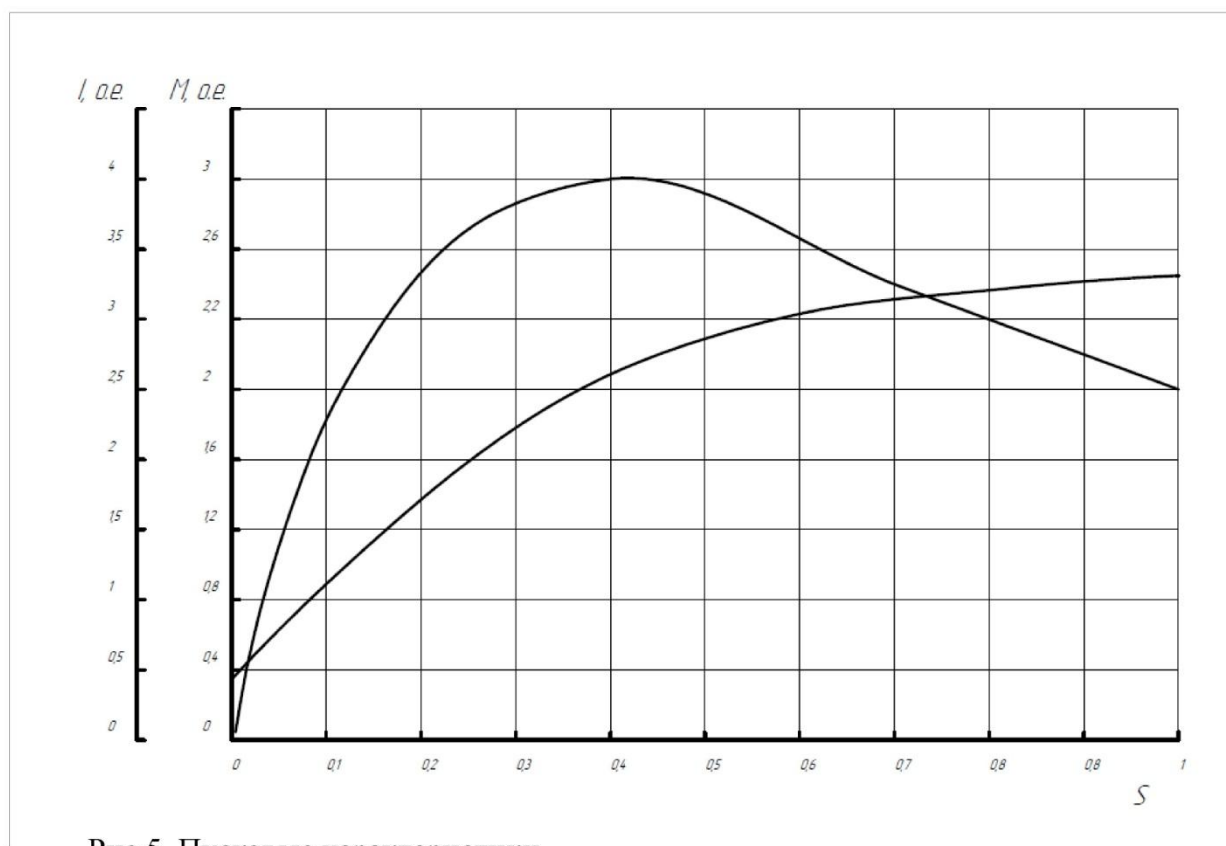


Рис.5 Пусковые характеристики

Критическое скольжение определяем после расчёта всех точек пусковых характеристик :

$$s_{кр} = \frac{r'_2}{\frac{x_{1нас}}{c_{1п.нас}} + x'_2 \xi_{нас}} = \frac{7.4}{\frac{7.59}{1.05} + 11.7} = 0.391$$

Кратность пускового и максимального моментов и пускового тока спроектированного двигателя удовлетворяют требованиям ГОСТ. (2-2,2 для момента и 4-6,5 для тока)

1.10 Тепловой расчёт.

Коэффициент теплоотдачи с поверхности найдём по рис. 9.67(а). для $Da = 0.136$ м

$$\alpha_1 = 70$$

Коэффициент учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду найдём по таблице

$$K = 0.20$$

Электрические потери в обмотке статора в пазовой части найдём (с учётом того, что изоляция обмотки класса нагревостойкости F)

$$P_{\Sigma 1} = 231.27 \text{ Вт, по таблице 1, для номинального режима. (P=750 Вт)}$$

$$P'_{\Sigma.п1} = 1.07 \cdot P_{\Sigma 1} \cdot \frac{2 \cdot I_{\delta}}{I_{cp}} = 1.07 \cdot 231.27 \cdot \frac{2 \cdot 0.062}{0.322} = 95.3 \text{ Вт}$$

Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя подсчитаем по ф-ле

$$\Delta v_{пов1} := K \cdot \frac{P'_{\Sigma.п1} + P_{ст.осн}}{\pi \cdot D \cdot I_{\delta} \cdot \alpha_1} = 0.20 \cdot \frac{95.3 + 34.6}{\pi \cdot 0.0966 \cdot 0.062 \cdot 70} = 19.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Расчётный периметр поперечного сечения паза статора для полужакрытых трапецеидальных паза

$$b_2 = 0.0013 \text{ м}$$

$$h_{\Pi} = 0.0114 \text{ м}$$

$$b_1 = 0.0042 \text{ м}$$

$$\Pi_{\Pi 1} = 2 \cdot h_{\Pi} + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0.0114 + 0.00423 + 0.00134 = 0.0284 \text{ м}$$

Средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции находится по графику, исходя из соотношения:

$$\frac{d_{\text{эл}}}{d_{\text{из}}} = \frac{0.6 \cdot 10^{-3}}{0.655 \cdot 10^{-3}} = 0.916$$

Для класса нагревостойкости F:

$$\lambda_{\text{экв}} = 0.16$$

Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора находится по ф-ле:

$$\Delta v_{\text{из.п1}} = \frac{P'_{\text{э.п1}}}{Z_1 \cdot \Pi_{\text{п1}} \cdot l_{\delta}} \cdot \left(\frac{b_{\text{из}}}{\lambda_{\text{экв}}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{\text{экв}}} \right) = \frac{95.3}{36 \cdot 0.0284 \cdot 0.062} \cdot \left(\frac{0.2 \cdot 10^{-3}}{0.16} + \frac{0.00423 + 0.00134}{16 \cdot 1.25} \right)$$

$$\Delta v_{\text{из.п1}} = 2.298 \quad \text{C}$$

Электрические потери в обмотке статора в пазовой части найдём по ф-ле :

$$P'_{\text{э.п1}} = 1.15 \cdot P_{\text{эл}} \cdot \frac{2 \cdot l_{\pi}}{l_{\text{ср}}} = 1.15 \cdot 231.27 \cdot \frac{2 \cdot 0.0991}{0.322} = 164.0 \text{ Вт}$$

По ф-ле 6-319 подсчитаем перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей. Т.к. отсутствует изоляция в лобовых частях, то односторонняя изоляция лобовой части катушки $b_{\text{из.р}}=0$

$$\Delta v_{\text{из.п1}} := \frac{P'_{\text{э.п1}}}{2Z_1 \cdot \Pi_{\text{п1}} \cdot l_{\pi}} \cdot \left(\frac{h_{\pi}}{12 \cdot \lambda'_{\text{экв}}} \right) = \frac{164.0}{2 \cdot 36 \cdot 0.0284 \cdot 0.0991} \cdot \frac{0.0114}{12 \cdot 1.25} = 0.615 \text{ C}$$

Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей над температурой воздуха внутри машины.

$$\Delta v_{\text{пов.п1}} = \frac{K \cdot P'_{\text{э.п1}}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{\text{выл}} \cdot \alpha_1} = \frac{0.20 \cdot 164.0}{2 \cdot \pi \cdot 0.0966 \cdot 0.0382 \cdot 70} = 20.2 \text{ C}$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри машины найдём по ф-ле

$$\Delta v'_1 = \frac{(\Delta v_{\text{пов}1} + \Delta v_{\text{из.п}1}) \cdot 2 \cdot l_{\delta}}{l_{\text{ср}}} + \frac{(\Delta v_{\text{из.п}1} + \Delta v_{\text{пов.п}1}) \cdot 2 \cdot l_{\pi}}{l_{\text{ср}}} = 21.3 \quad \text{C}$$

Среднее значение периметра поперечного сечения рёбер корпуса А.Д. по рис 9-70

$$\Pi_p = 0.25 \quad \text{м}$$

Эквивалентная поверхность охлаждения корпуса с учётом поверхности рёбер станины находим по ф-ле:

$$S_{\text{кор}} = (\pi \cdot Da + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (l_{\delta} + 2 \cdot l_{\text{выл}}) \quad \text{explicit, ALL} = (\pi \cdot 0.136 + 8 \cdot 0.25) \cdot (0.062 + 2 \cdot 0.0382)$$

$$S_{\text{кор}} = 0.3359 \quad \text{м}^2$$

Из таб.1 расчёта рабочих характеристик для $S=S_{\text{ном}}$ выбираем:

$$P = 367.38 \quad \text{Вт}$$

$$P_{\text{э}2} = 53.54 \quad \text{Вт}$$

рассчитаем:

$$P' = P + (1.15 - 1) \cdot (P_{\text{э}1} + P_{\text{э}2})$$

$$P' = 410.1015 \quad \text{Вт}$$

$$P'_B = P' - (1 - K) \cdot (P'_{\text{э.п}1} + P_{\text{ст.осн}})$$

$$P'_B = 306.1815 \quad \text{Вт}$$

Коэффициент подогрева воздуха, учитывающий теплоотдающую способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины найдём по графику для

$$Da = 0.136$$

$$\alpha_B = 17$$

Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды подсчитаем

$$\Delta v_B = \frac{P'_B}{S_{\text{кор}} \cdot \alpha_B} = \frac{367.38 + (1.15 - 1) \cdot (231.27 + 53.54) - (1 - 0.20) \cdot (95.3 + 34.6)}{(\pi \cdot 0.136 + 8 \cdot 0.25) \cdot (0.062 + 2 \cdot 0.0382) \cdot 17}$$

$$\Delta v_B = 53.614 \quad ^\circ\text{C}$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды подсчитывается по ф-ле :

$$\Delta v_1 = \Delta v_B + \Delta v'_1 = \frac{367.38 + (1.15 - 1) \cdot (231.27 + 53.54) - (1 - 0.20) \cdot (95.3 + 34.6)}{(\pi \cdot 0.136 + 8 \cdot 0.25) \cdot (0.062 + 2 \cdot 0.0382) \cdot 17} + 21.3$$

$$\Delta v_1 = 74.914 \quad ^\circ\text{C}$$

Допустимое превышение температуры для класса нагревостойкости F - 100 C. Как видим, есть необходимый запас (20%)

1.11 Расчёт вентиляции.

Коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором:

Для двигателей с $2p=4$ и $h=132$ $m = 1.8$

$$k_m := m \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot Da} = 1.8 \cdot \sqrt{\frac{1200.0}{100} \cdot 0.136} = 2.3$$

Требуемый для охлаждения расход воздуха подсчитаем по ф-ле:

$$Q_B := \frac{k_m \cdot P'_B}{1100 \cdot \Delta v_B} = \frac{2.3 \cdot [367.38 + (1.15 - 1) \cdot (231.27 + 53.54) - (1 - 0.20) \cdot (95.3 + 34.6)]}{1100 \cdot 53.614} = 0.0119 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Расход воздуха обеспечиваемый наружным вентилятором рассчитаем по ф-ле :

$$Q'_B = 0.6 \cdot Da^3 \cdot \frac{n}{100} = 0.6 \cdot 0.136^3 \cdot \frac{1200.0}{100} = 0.0181 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Так как. $Q'_B > Q_B$ то тепловой расчёт произведён правильно.

1.12 Механический расчёт вала.

Асинхронный двигатель выполнен с горизонтальным расположением вала. В этом случае вал несёт на себе всю массу вращающихся частей, через него передаётся вращающий момент машины. При сочленении машины с исполнительным механизмом на вал действуют дополнительные изгибающие силы. Кроме того, на вал могут действовать силы одностороннего магнитного притяжения, вызванные магнитной несимметрией, усилия, появляющиеся из-за наличия небаланса вращающихся частей, а также усилия, возникающие при появлении крутильных колебаний. Правильно сконструированный вал должен быть достаточно прочным, чтобы выдерживать все действующие на него нагрузки без появления остаточных деформаций. Вал должен также иметь достаточную жёсткость, чтобы при работе машины ротор не задевал о статор. Критическая частота вращения вала должна быть значительно больше рабочих частот вращения машины. Окончательные размеры вала устанавливаются после его расчётов на жёсткость и прочность.

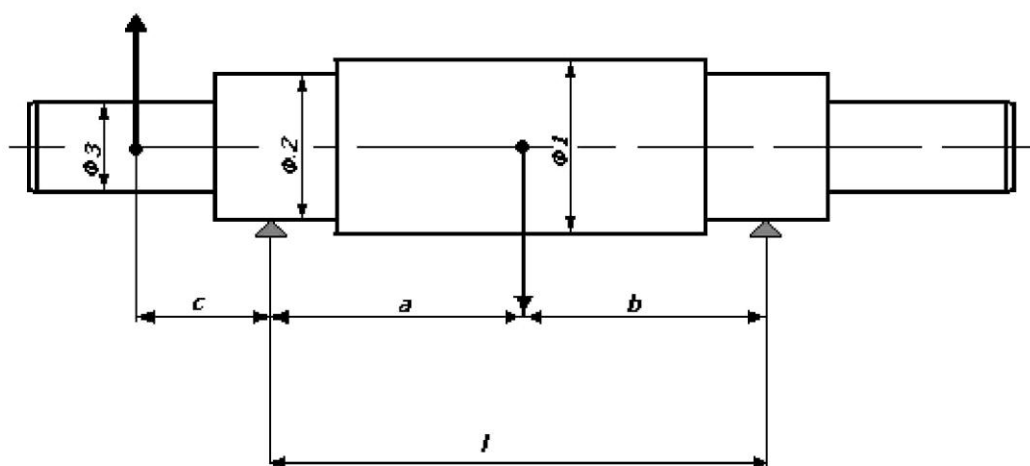


Рис.5

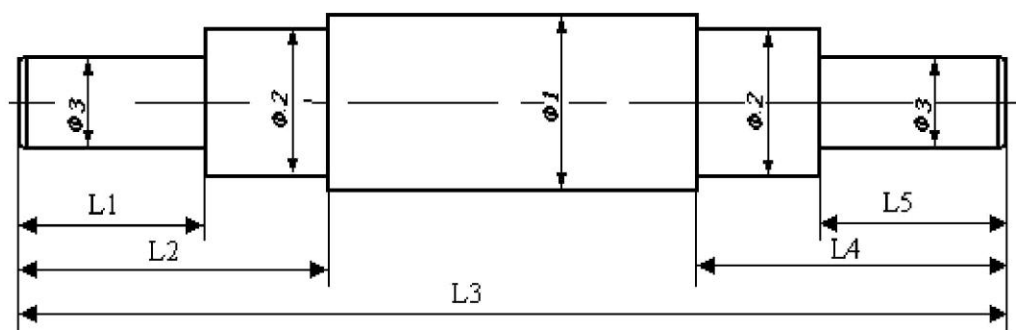


Рис.7

Определим номинальный вращающий момент:

$$P_2 = 750 \quad \text{Вт}$$

$$M_2 = \frac{9.55 \cdot P_2}{n \cdot (1 - s_H)} = \frac{9.55 \cdot 750}{1200.0 \cdot (1 - 0.065)} = 6.38 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Согласно моменту выбираем диаметр конца вала по табл.

$$\Phi 3 = 18 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

$$L1 = 40 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}$$

Далее определяем по таблице диаметр под подшипник d_2 и диаметр вала за подшипником

$$\Phi 2 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\Phi 1 = 26 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Вал имеет следующие размеры.

$$a = 81 \cdot 10^{-3} \quad x = 10 \cdot 10^{-3}$$

$$b = 81 \cdot 10^{-3} \quad y = 10 \cdot 10^{-3}$$

$$l = 192 \cdot 10^{-3} \quad c = 55 \cdot 10^{-3}$$

Модуль Юнга для стали равен:

$$E = 2.06 \cdot 10^{11}$$

Определим момент инерции участка вала:

$$J = \frac{\pi \cdot \Phi 2^4}{64} = \frac{\pi \cdot (20 \cdot 10^{-3})^4}{64} = 7.85 \text{e-}9$$

$$J = 7.85 \times 10^{-9} \quad \text{Н}$$

Приблизённое значение силы тяжести:

$$m_p = 6500 \cdot (D_2)^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0.0961^2 \cdot 0.062 = 3.72 \quad \text{кг}$$

$$P'_2 = 9.81 \cdot m_p = 9.81 \cdot 3.72 = 36.5 \quad \text{Н}$$

Определим прогиб вала посередине сердечника ротора под действием силы тяжести

$$f_t := \frac{P'_2}{3 \cdot E \cdot I^2} \cdot (a^2 \cdot Sa + b^2 \cdot Sa)$$

Для АД с $h < 250$ мм с достаточным приближением можно принять:

$$Sa := \frac{(a^3 - x^3)}{J} = \frac{(81 \cdot 10^{-3})^3 - (10 \times 10^{-3})^3}{7.85e-9} = 67572.0$$

$$Sb := \frac{(b^3 - y^3)}{J} = \frac{(81 \cdot 10^{-3})^3 - (10 \times 10^{-3})^3}{7.85e-9} = 67572.0$$

$$So = \frac{(a^2 - x^2)}{J} = \frac{(81 \cdot 10^{-3})^2 - (10 \cdot 10^{-3})^2}{7.85e-9} = 823057.0$$

Тогда:

$$f_t := \frac{P'_2}{3 \cdot E \cdot I^2} \cdot (a^2 \cdot Sb + b^2 \cdot Sa) = \frac{36.5}{3 \cdot 2.06 \cdot 10^{11} (192 \cdot 10^{-3})^2} \cdot [(81 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 67572.0 + (81 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 67572.0] =$$

$$f_t = 1.42 \times 10^{-6} \quad \text{м}$$

Реакция передачи равна:

При передаче упругой кулачковой муфтой,

Радиус упругой муфты: $r = 60 \cdot 10^{-3}$

$$P_{\Pi} := \frac{k_{\Pi} \cdot M_2}{r} = \frac{0.3 \cdot 6.38}{60 \cdot 10^{-3}} = 31.9$$

Прогиб вала посередине сердечника ротора составит:

$$f_{\Pi} := \left[\frac{P_{\Pi} \cdot c}{3 \cdot E \cdot I^2} \cdot [(1.5 \cdot l \cdot So - Sb) \cdot a + b \cdot Sa] \right]$$

$$f_{\Pi} = 1.4787 \times 10^{-6}$$

Начальный эксцентриситет ротора составит: $D_2 = 0.0961$

$$e_0 = 0.1 \cdot \delta + f_{\Pi} + f_t$$

$$e_0 = 2.7899 \times 10^{-5}$$

Начальная сила одностороннего магнитного притяжения будет равна:

$$P_m = 0.15 \cdot D_2 \cdot l_{\delta} \cdot \frac{e_0}{\delta}$$

$$P_m = 9.9735 \times 10^{-5} \text{ Н}$$

Прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения:

$$f_o = \frac{f_t \cdot P_m}{P'_2}$$

$$f_o = 3.8801 \times 10^{-12} \text{ м}$$

Установившийся прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения:

$$f_m = \frac{f_o}{1 - \frac{f_o}{e_0}}$$

$$f_m = 3.8801 \times 10^{-12} \text{ м}$$

Результирующий прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения, реакции передачи и тяжести ротора.

$$f = f_t + f_{\Pi} + f_m = 1.42 \cdot 10^{-6} + 1.4787 \cdot 10^{-6} + 3.8801 \cdot 10^{-12} = 0.0000029 \text{ м}$$

$$f = 2.9 \times 10^{-6} \text{ м}$$

Результирующий прогиб вала не должен превышать 12% от воздушного зазора. Проверим это условие:

$$X = \frac{f \cdot 100\%}{\delta} = \frac{0.0000029 \cdot 100 \cdot \%}{0.25 \cdot 10^{-3}} = 1.16 \cdot \%$$

Определение критической частоты вращения

Определим силу тяжести полумуфты:

$$G_{\text{шк}} := 6.97 \text{ кг}$$

$$P_{\text{шк}} = 9.81 \cdot G_{\text{шк}} = 9.81 \cdot 6.97 = 68.4 \text{ Н}$$

Прогиб вала от тяжести полумуфты равен:

$$f_{\text{шк}} := \frac{f_{\text{п}} \cdot P_{\text{шк}}}{P_{\text{п}}} = \frac{1.4787 \cdot 10^{-6} \cdot 68.4}{31.9} = 0.00000317 \text{ м}$$

$$f_{\text{шк}} = 3.17 \times 10^{-6} \text{ м}$$

Первая критическая частота вращения вала с учётом влияния магнитного притяжения:

$$n_{\text{кр}} := 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{f_0}{e_0}}{f_t + f_{\text{шк}}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{3.8801 \cdot 10^{-12}}{2.7899 \cdot 10^{-5}}}{1.42 \cdot 10^{-6} + 0.00000317}} = 14002.0 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$n_{\text{кр}} = 14002 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$n = 1200 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Произведём проверку: должно выполняться условие

$$n_{\text{кр}} > 1.3 \cdot n$$

$$1.3 \cdot n = 1560 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$44575.7 > 1950$$

Как видим эта величина превышает номинальную скорость вращения вала более чем на 30%

Расчёт вала на прочность.

Сумма длины полумуфты и половины длины кулачка найдём по ф-ле:

$L := 80 \cdot 10^{-3}$ $l_1 := 45 \cdot 10^{-3}$ размеры муфты.

$$z_1 = \frac{L}{2} + \frac{l_1}{2} = \frac{80 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{45 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.0625 \text{ м}$$

Определим реакцию опоры в сечении вала (b):

$$R_b := \frac{(P'_2 + P_m) \cdot a}{1} + \frac{P_{II} \cdot (l + c)}{1} = \frac{(36.5 + 9.9735 \cdot 10^{-5}) \cdot 81 \cdot 10^{-3}}{192 \cdot 10^{-3}} + \frac{31.9 \cdot (192 \cdot 10^{-3} + 55 \cdot 10^{-3})}{192 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_b = 56.4365$$

Изгибающий момент в сечении вала (b):

$$M_{II} := [P_{II} \cdot (c + y) + R_b \cdot y] \cdot 10^{-3} = [31.9 \cdot (55 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-3}) + 56.4365 \cdot 10 \cdot 10^{-3}] \cdot 10^{-3} = 0.00264 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Момент кручения:

$$M_K := 2 \cdot M_2 \quad M_K = 12.76 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Момент сопротивления при изгибе:

$$W := 0.1 \cdot \Phi^3 \quad W = 8 \times 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Эквивалентное сопротивление при изгибе и кручении.

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sqrt{M_{II}^2 + M_K^2}}{W} = \frac{\sqrt{0.00264^2 + (2 \cdot 6.38)^2}}{0.1 \cdot (20 \cdot 10^{-3})^3} = 1.6e7$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = 1.6 \times 10^7 \text{ Па}$$

Произведём проверку: Для стали 45

$$\sigma_t := 360 \cdot 10^6$$

$$\frac{\sigma_{\text{ЭКВ}}}{\sigma_t} = 0.044$$

Это соответствует нормам

$$k_H := 1.5$$

—коэффициент учитывающий характер нагрузки двигателя, при нагрузке с умеренными толчками

Приведенная динамическая нагрузка

$$Q_b = k_H \cdot R_b = 1.5 \cdot 56.4365 = 84.7 \quad \text{Н}$$

$L = 20000$ ч - срок службы подшипника

$$n = 1200 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Динамическая грузоподъемность

$$C := \frac{Q_b \cdot \sqrt[3]{L \cdot n}}{25.6} = \frac{84.7 \cdot \sqrt[3]{20000 \cdot 1200.0}}{25.6} = 954.3636$$

Выберем подшипник легкой серии 204 с диаметром $d=20$, $D=47$, $B=14$ и $C=9800$ Н

Из приведенного расчета следует, что шарикоподшипник легкой серии подходит для спроектированного двигателя по найденной динамической грузоподъемности наиболее нагруженной опоры.

2. Специальная часть

Механические характеристики асинхронного двигателя с частотным управлением.

Цель работы – исследование механических характеристик двигателя при различных значениях частоты питающего напряжения и постоянном значении момента на валу.

Из всех возможных способов регулирования асинхронного двигателя, рассматриваемый в данной работе способ позволяет плавно изменять угловую скорость в наиболее широком диапазоне, но для его осуществления необходим отдельный источник питания. В

зависимости от требований к механическим характеристикам асинхронного двигателя, при частотном регулировании одновременно с изменением частоты f_1 приходится определенным образом менять подводимое к обмотке статора напряжение U_1 .

Пренебрегая активным сопротивлением обмотки статора r_1 , максимальный момент двигателя определяется по формуле:

$$M_{\max} = \frac{m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega (x_1 + x_2)}$$

или

$$M_{\max} = \frac{k_1 \cdot U_1^2}{f_1^2}$$

где k_1 – постоянный коэффициент.

Отношения моментов при двух значениях частоты будет равно:

$$\frac{M_{\max(1)}}{M_{\max(2)}} = \left[\frac{U_{1(1)} \cdot f_{1(2)}}{U_{1(2)} \cdot f_{1(1)}} \right]^2, \quad \text{где индексы (1) и (2) относятся к различным угловым скоростям.}$$

Отсюда получим закон изменения U_1 при регулировании частоты f_1 :

$$\frac{U_{1(2)}}{U_{1(1)}} = \frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}} \cdot \sqrt{\frac{M_{\max(2)}}{M_{\max(1)}}}$$

Закон изменения напряжения при этом зависит от характера момента нагрузки. В рассматриваемом случае требуется, чтобы момент на валу двигателя при любом значении частоты f_1 оставался неизменным, из предыдущего выражения получим:

$$U_{1(2)} / U_{1(1)} = f_{1(2)} / f_{1(1)} = \text{const}$$

$$U_{1(1)} / f_{1(1)} = U_{1(2)} / f_{1(2)} = \text{const}$$

Так как проектируемый двигатель является крановым, то управление необходимо осуществлять по закону постоянного момента.

При осуществлении регулирования с постоянным моментом, напряжение, подводимое к статорной обмотке двигателя необходимо изменять пропорционально изменению частоты,

при этом магнитный поток машины при различных значениях частоты остается практически неизменным.

Для построения механических характеристик воспользуемся той же моделью, реализованной в программной среде MathCAD, которая использовалась при электромагнитном расчете проектируемого двигателя.

Расчет проведем для следующих значений частоты : $f_1=5, 15, 30, 45, 60$ Гц и соответствующих им значений напряжения U_1 , полученных из соотношения

$$U_{1(1)} / f_{1(1)} = U_{1(2)} / f_{1(2)} \quad (1)$$

и представленных в таблице 1.

Таблица 2.1.

f_1 , Гц	60	45	30	15	5
U_1 , В	220	165	110	55	18,33

Рассмотрим расчет механической характеристики для частоты $f=60$ Гц, являющейся номинальной для данного двигателя.

$$n_o := n_I \cdot (1 - s_o)$$

$$n_I := 60 \frac{f_I}{p}$$

$$f_I = 60$$

$$U_I = 220$$

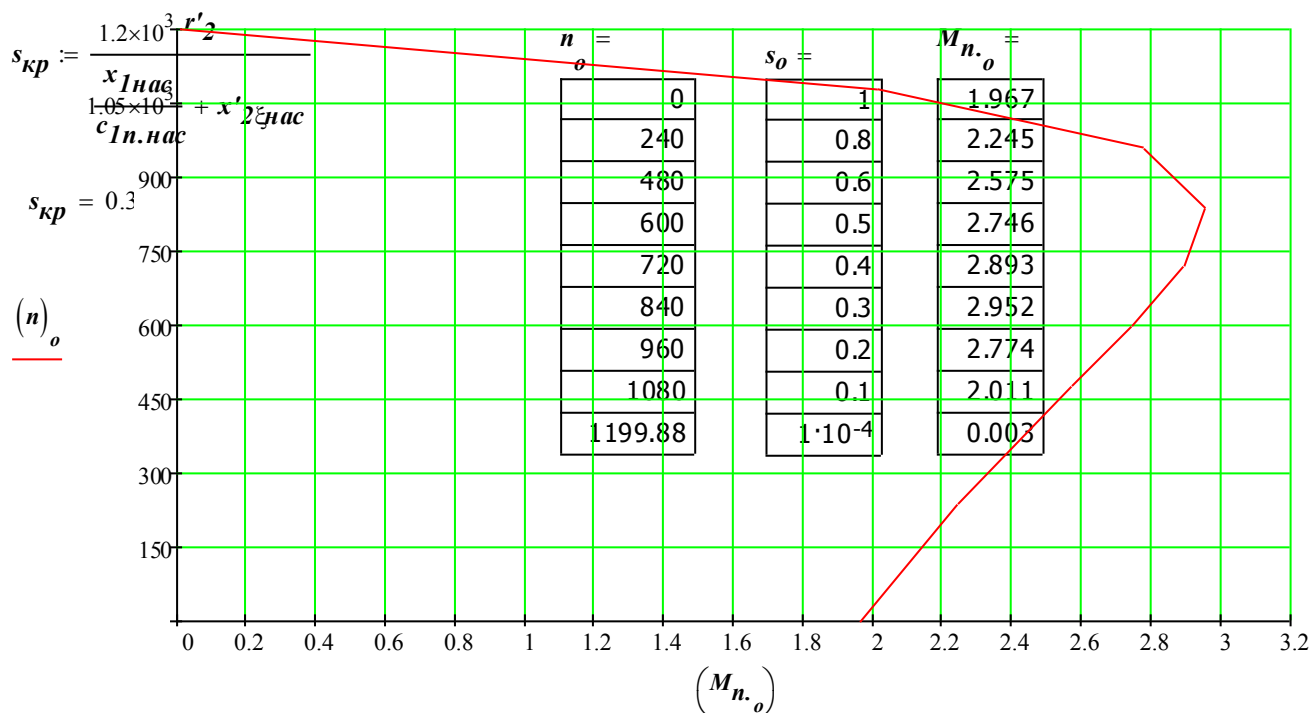


Рис 2.1. Расчетная механическая характеристика для частоты $f_1=60$ Гц.

Результаты расчетов для остальных значений частоты представлены в таблице 2.2

Таблица 2.2.

	$f=60$		$f=45$		$f=30$		$f=15$		$f=5$	
S,o.e.	$n,$	$M,$	$n,$	$M,$	$n,$	$M,$	$n,$	$M,$	$n,$	$M,$

	об/ми н	о.е.	об/ми н	о.е.	об/ми н	о.е.	об/ми н	о.е.	об/ми н	о.е.
1	0	1,99 4	0	2,26 2	0	2,53 7	0	2,59 6	0	1,125
0,8	240	2,27 5	180	2,51 7	120	2,74 6	60	2,71 2	20	1,08
0,6	480	2,61	360	2,78 6	240	2,92 6	120	2,81 7	40	1,004
0,5	600	2,78 4	450	2,90 2	300	2,95 9	150	2,81 5	50	0,962
0,4	720	2,93 6	540	2,97	360	2,94 5	180	2,75	60	0,89
0,3	840	2,98 6	630	2,92 6	420	2,82	210	2,57 1	70	0,811
0,2	960	2,81 4	720	2,63 7	480	2,47 5	240	2,19 1	80	0,691
0,1	1080	2,03 8	810	1,83 2	540	1,66 5	270	1,44 4	90	0,391
0,000 1	1200	0,00 3	900	0,00 3	600	0,00 2	300	0,00 2	100	0,000 8

По полученным для указанных значений частоты и напряжения точкам построена механическая характеристика, представленная на рисунке 2.

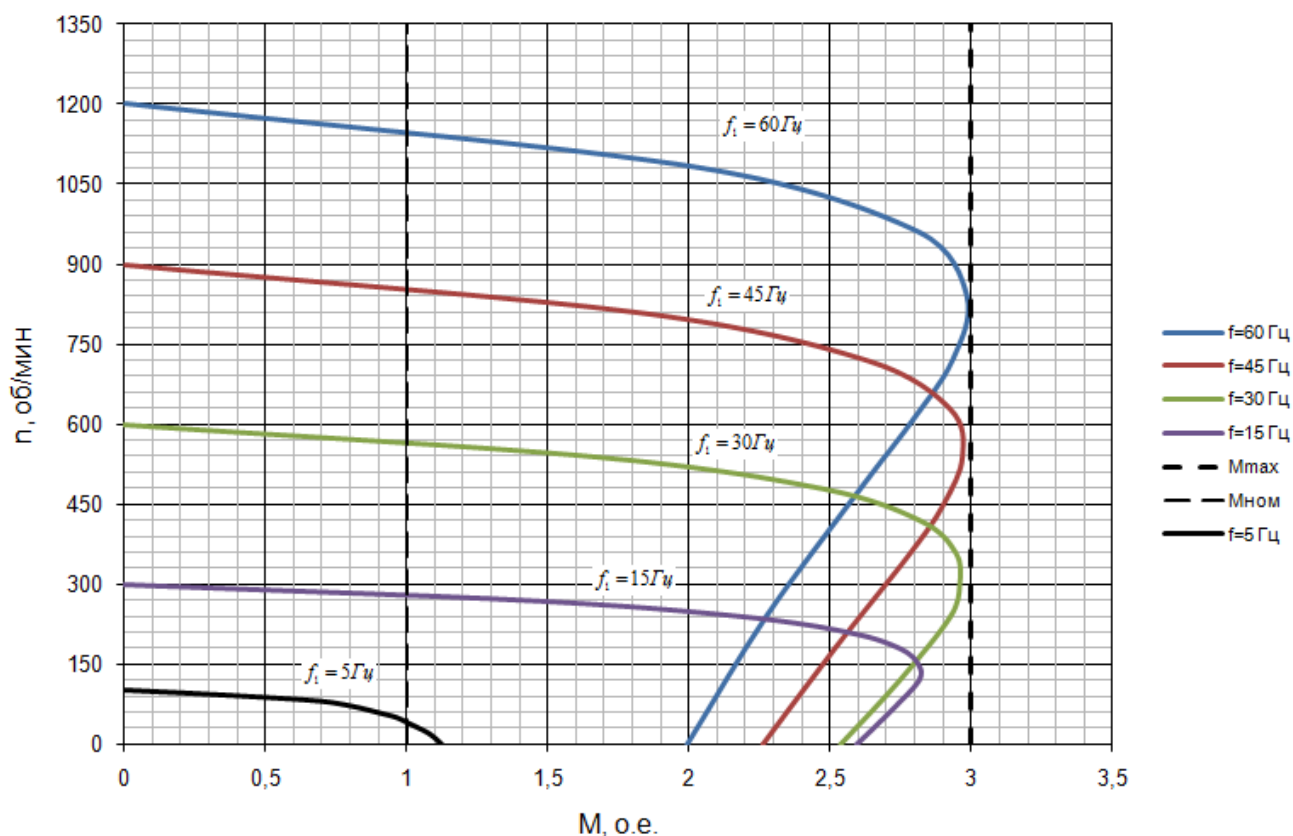


Рис.2.2 Механические характеристики асинхронного двигателя при различных значениях f_1 и $M = \text{const}$

По построенным характеристикам видим, что с уменьшением частоты при пропорциональном уменьшении питающего напряжения кривая характеристики смещается вниз, так как критическое скольжение, определяемое выражением

$$S_{кр} \approx \frac{r_2'}{x_1 + x_2'} \quad (2)$$

увеличивается обратно пропорционально частоте, из-за уменьшающихся с уменьшением частоты индуктивных сопротивлений x_1 и x_2' .

Начиная с определенных значений частоты (в нашем случае 15 Гц.) максимальный момент уменьшается. Это объясняется тем, что соотношение (1) справедливо лишь для некоего идеализированного двигателя, так как не учитывает влияние активного сопротивления статора, и связанного с ним уменьшения магнитного потока, поэтому применимы лишь при регулировании в небольших пределах (приблизительно 2:1). При больших изменениях частоты, они уже не обеспечивают постоянства перегрузочной способности двигателя. Рассмотрим выражение для момента с учетом активного сопротивления обмотки статора:

$$M = \frac{3 \cdot p \cdot U^2}{2\pi f \cdot (r_1 + x_1 + x_2')} \quad (3)$$

При относительно большом значении частоты питающего напряжения активное сопротивление r_1 на много меньше индуктивных сопротивлений x_1 и x_2' , но при

значительном снижении частоты индуктивные сопротивления уменьшаются на столько, что становятся сравнимыми с неизменяющимся активным сопротивлением. Таким образом, числитель выражения (3) уменьшается быстрее, чем знаменатель. Это приводит к уменьшению момента в зоне низких частот.

Для того чтобы компенсировать уменьшение момента на низких частотах, необходимо снижать напряжение в несколько меньшей степени чем это определено соотношением (1). Тем не менее, несмотря на снижение момента, двигатель остается работоспособным при всех рассмотренных значениях частоты, и способен запускаться без снятия нагрузки, так как пусковой момент двигателя превышает номинальный.

3. Технология производства электрических машин

Технологический процесс сборки статора кранового асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, непосредственно связанного с последовательным соединением, взаимной ориентировкой и фиксацией деталей и узлов, для получения готового изделия, удовлетворяющего установленным требованиям.

Конструкция машины должна допускать сборку ее из предварительно собранных узлов, что позволяет осуществлять параллельную сборку и испытание узлов и изделия, сокращает длительность цикла сборки машины.

Уменьшение количества наименований деталей и узлов машины, а также использование стандартных деталей и узлов снижают себестоимость изготовления машины. Нормализация крепежных и других деталей изделия сокращает номенклатуру сборочных инструментов и позволяет более эффективно использовать средства механизации сборочных работ. Необходимо обеспечить возможность удобного подвода механизированного сборочного инструмента к местам соединения деталей и лёгкость захвата их грузоподъемными устройствами.

Наличие многозвенных размерных цепей сужает допуски на размеры составляющих звеньев, поэтому в них предусматривают жесткие и регулируемые компенсаторы, при помощи которых легко обеспечивается требуемая точность замыкающего звена размерной цепи. Конструкция изделия должна допускать его сборку без сложных приспособлений и путём использования простых (предпочтительно прямолинейных) движений.

При анализе исходных данных выявляют перспективность производства изделий, так как от этого зависит степень автоматизации сборки.

Конструкция станины зависит от степени защиты и высоты оси вращения ЭМ. Для двигателей исполнения (IP54) применяют литые чугунные станины, выполненные в виде сравнительно тонкостенной трубы с отлитыми заодно лапами и высокой степенью ребрения.

Станина отливается из чугуна. Этот материал легко поддаётся механической обработке. Требования по твёрдости установлены по ГОСТ 1412-85.

Основными параметрами станины, влияющими на качество машины являются размер и форма отверстия D под сердечник статора, смещение ΔC оси расточки относительно осей отверстий в фланце, отклонение высоты оси, размер D1 замков (выточек для посадки подшипниковых щитов) и смещение их оси относительно отверстия сердечника статора, определяемое относительным расположением поверхностей.

Ротор асинхронного двигателя – сборочная единица, состоящая из небольшого числа составных частей: сборочная единица – сердечник с уложенной трехфазной обмоткой (поз. 1), деталь – корпус (поз. 2). Неподвижность ротора без вала на валу обеспечивает прессовая посадка.

Листы статора до шихтовки подвергают термической обработке для получения необходимых магнитных свойств и оксидированию для получения на поверхности листов тонкой оксидной плёнки. После сборки такая конструкция сердечника способствует значительному уменьшению вихревых токов, возникающих в процессе перемагничивания сердечника вращающимся магнитным полем.

Обмотка статора состоит из мягких секций, намотанных круглым медным проводом. Секции укладываются в пазы статора через шлицы. На внутренней поверхности сердечника статора располагаются пазовые части обмотки статора, соединенные в определённом порядке лобовыми частями, находящимися за пределами сердечника по его торцевым сторонам.

В выполняемом проекте сборка осуществляется из ранее собранных узлов, что позволяет существенно сократить общее время сборки, повысить производительность труда.

В данном двигателе применяется большое количество стандартных изделий (болтов, винтов, шайб), что уменьшает номенклатуру количества инструментов и приспособлений для сборки и обеспечивает полную взаимозаменяемость деталей. Конструкция ротора обеспечивает свободный доступ рабочих органов оборудования и сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей. Размеры сборочных единиц и деталей обеспечивают собираемость и не требуют дополнительной подгонки.

Конструктивное исполнение статора – отвечает следующим технологическим требованиям:

1. Статор имеет надёжную базу, обеспечивающую правильную ориентацию и требуемую жесткость при обработке.

2. Статор имеет минимум типоразмеров отверстий и возможность их обработки на проход.
3. Обрабатываемые и необрабатываемые поверхности четко ограничены.
4. Нерабочие поверхности изготавливаются без применения обработки резанием.
5. Имеется наличие фасок в зоне посадок (замки, под подшипниковые щиты).
6. Удобство монтажа и демонтажа.

3.1 Расчёт усилия запрессовки

Сердечники статора запрессовывают в корпус на гидравлических прессах

Наиболее часто неподвижные соединения при сборке образуются путём запрессовки соединяемых деталей.

Прочность и неподвижность таких соединений обеспечивается силами трения, которые определяются величиной давления, создаваемого натягом

Исходные данные для расчета:

$D = 160_{-0.25}$,мм - наружный диаметр станины

$d = 136$ мм - номинальный диаметр соединения

$136u8^{(+0.233}_{+0.170})$ мм внешний диаметр сердечника

$136H7^{(+0.04)}$ мм диаметр отверстия в станине

$E_1 = 10 \cdot 10^{10}$ Н/м² модуль Юнга для чугуна

$E_2 = 20 \cdot 10^{10}$ Н/м² модуль Юнга для стали

$\mu_1 = 0.25$ коэффициент Пуассона для чугуна

$\mu_2 = 0.3$ коэффициент Пуассона для стали

$f_3 = 0.14$ коэффициент трения при запрессовке

$d_0 = 0.096$ м внутренний диаметр статора

$L = 0.06$ м длина сердечника

$es_b = 233 \cdot 10^{-6}$ м верхнее предельное отклонение наружного диаметра сердечника

$EI_0 = 0$ м нижнее предельное отклонение для внутреннего диаметра станины

$\delta_{\max} = es_b - EI_0 = 233 \cdot 10^{-6} - 0 = 0.000233$ м максимальный натяг в соединении

$\delta_p = \delta_{\max} - 1.2(R_{a2} + R_{a1}) = 0.000233 - 1.2(0.8 \cdot 10^{-6} + 0.8 \cdot 10^{-6}) = 0.00023$ м расчетный натяг

$R_{a2} = 0.8 \cdot 10^{-6}$ мкм - шероховатость внутренней поверхности станины

$R_{a1} = 0.8 \cdot 10^{-6}$ мкм - шероховатость наружной поверхности сердечника

безразмерный коэффициент для сердечника

$$C_2 := \frac{\left[\frac{1 + \left(\frac{d_0}{d} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_0}{d} \right)^2} \right] - \mu_2}{1 - \left(\frac{0.0965}{0.136} \right)^2} = \frac{1 + \left(\frac{0.0965}{0.136} \right)^2}{1 - \left(\frac{0.0965}{0.136} \right)^2} - 0.3 = 2.75$$

Безразмерный коэффициент для станины

$$C_1 = \mu_1 + \frac{\left[\frac{1 + \left(\frac{d}{D} \right)^2}{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2} \right] - 0.25}{1 - \left(\frac{0.136}{0.160} \right)^2} = 0.25 + \frac{1 + \left(\frac{0.136}{0.160} \right)^2}{1 - \left(\frac{0.136}{0.160} \right)^2} = 6.46$$

Давление поверхности контакта

$$p = \frac{1 \cdot \delta_p}{d \cdot \left(\frac{C_2}{E_2} + \frac{C_1}{E_1} \right)} = \frac{0.000231}{0.136 \left(\frac{2.73}{20 \cdot 10^{10}} + \frac{6.46}{10 \cdot 10^{10}} \right)} = 2.2e7 \quad \text{Па}$$

Определим максимальное значение силы, создаваемой прессом:

$$P = f_3 \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot p = 0.14 \pi \cdot 0.136 \cdot 0.0622 \cdot 2.2e7 = 81588.6 \quad \text{Н}$$

Т.е. пресс должен развивать усилие больше 81,6 кН.

Выбираем гидравлический одностоечный пресс типа П6320, с номинальной силой 100 кН.

Основные технические характеристики:

— наибольший ход штока – 400 мм;

- наибольшее расстояние между запрессовочным столом и штоком – 600 мм;
- размер запрессовочного стола – 500 x 380 мм;
- расстояние от оси штока до станины – 200 мм;
- скорость рабочего хода штока – 20 мм/с;
- возвратного хода 300 мм/с;
- мощность привода – 3 кВт;
- габаритные размеры в плане – 1250 × 1215 мм;
- высота над уровнем пола – 1982 мм;
- масса прессы – 1,208 т.

Учитывая, что наибольший диаметр статора 180 мм, а суммарная длина статора и станины не более 270 мм, данный пресс можно применять для сборки статора.

3.2 Составление схемы сборки

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоемкость сборки отдельных составных частей; иногда выявить конструктивные неувязки; выявить и сравнить варианты технологического процесса. На базе схемы сборки устанавливающая последовательность и содержание операций. Процесс сборки изображают на схеме горизонтальной линией в направлении от прямоугольника с изображением базовой детали до прямоугольника с изображением готового изделия или сборочной единицы - составной части готового изделия. Схема сборки представлена на рисунке 1.

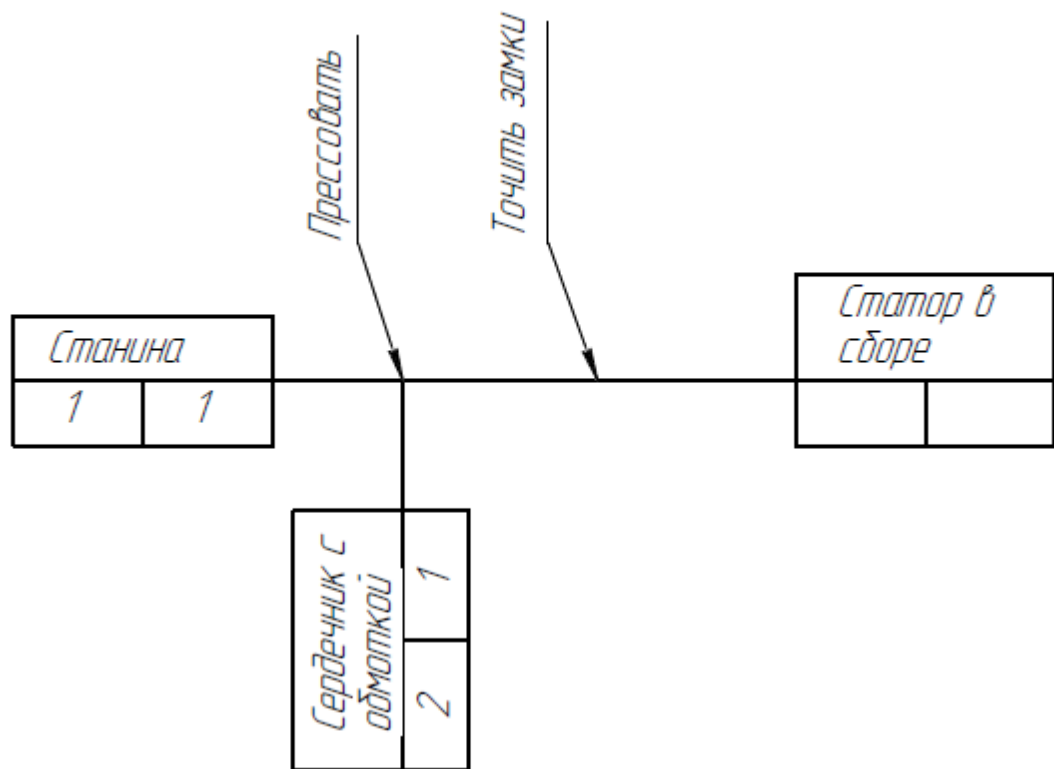


Рис.3.1 схема сборки

3.3 Выбор сборочного оборудования и оснастки

Маршрутная технология состоит из 3 операций отображенные в таблице 1.

Таблица 3. 1 - Список операций

№	Описание
010	Запрессовка
015	Обточка
020	Контроль

2.4 Расчет норм времени

При расчете норм времени следует опираться на литературу:

«Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и

слесарно-сборочные работы по сборке машин. Серийное и крупносерийное производство. М.: Машиностроение, 1985. - 496 с.»

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства [7].

Штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий одновременно собираемых на одном рабочем месте [7].

При расчетно-аналитическом методе технически обоснованную норму времени устанавливают на каждую сборочную операцию [7]. Для неавтоматизированного производства штучное время равно:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_n,$$

где T_o - основное (технологическое) время ;

T_v - вспомогательное время;

$T_{об}$ - время организационного обслуживания рабочего места;

T_n - время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего.

Так как элементы основного и вспомогательного времени тесно связаны между собой, при сборке нормируют и оперативное время:

$$T_{оп} = T_o + T_v .$$

Основное время учитывает изменение состояния продукта производства в процессе сборки. Оно затрачивается на выполнение соединений, регулирование, пригонку сопрягаемых деталей, подбор и размерную сортировку деталей, подготовку деталей к сборке [7]. Вспомогательное время учитывает действия, которые сопровождают и обеспечивают выполнение основной работы. Оно включает время на установку, закрепление и снятие собираемой части изделия, управление механизмом и оборудованием, а также на контроль выдерживаемых при сборке размеров. Вспомогательное время находят суммированием элементов времени на выполнение перечисленных действий по всем переходам операции, устанавливаемых по нормативам вспомогательного времени. Как и основное, вспомогательное время может быть ручным, машинно-ручным и машинным [7].

Время организационного обслуживания рабочего места учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, замены инструмента в процессе работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку сборочного оборудования и приспособлений и т.п.. Его определяют в процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%) [7].

Время перерывов в работе на отдых и личные надобности определяют по нормативам, в процентном отношении к оперативному времени (в среднем 2,5%) [7].

Пример расчета норм времени для операции 010 (прессование).

Одеваются рукавицы, ставится корпус вертикально на запрессовочный станок; проверяется рукой надёжности установки. Далее в отверстие корпуса вводится закрепленный на оправке сердечник с обмоткой, наживляется прессом на 10мм, проверяется ровность запрессовки и если все нормально, запрессовываем дальше до упора.

$T_o = 0,45$ мин - основное (технологическое) время: запрессовка ;

$T_v = 0,25$ мин - вспомогательное время: Одевание перчаток, перенос и установка заготовок в пресс и изъятие их;

$T_{об} = 0,04$ мин - время организационного обслуживания рабочего места ;

$T_n = 0,02$ мин - время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего.

При сборке изделий партиями в серийном производстве вместо штучного времени $T_{шт}$ определяют штучно-калькуляционное $T_{шт.к}$.

$$T_{шт.к} = T_{шт.} + T_{пз}/n = 0,76 + 0,002/7400 = 0,76$$

где $T_{пз} = 0,002$ мин - подготовительно заключительное время. Подготовительно заключительным называют время, которое затрагивает сборщик на ознакомление с чертежом изделия, подготовку и наладку оборудования, приспособлений и инструментов, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы и сдачу собранных изделий. $T_{пз}$ в данном случае затрачивается для наладки оправки, подготовки ее к работе, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы и сдачу собранных изделий [3, 7].

n - число изделий в партии. Принимаем равным годовому выпуску - 7400 штук/год.

Таблица 3.2 - Расчет норм времени

Операция	T_o , мин	T_B , мин	$T_{оп}$, мин	$T_{об}$, мин	T_p , мин	$T_{пз}$, мин	$T_{шт}$, мин	$T_{шт.к}$, мин
010	0,45	0,25	0,70	0,04	0,02	0,002	1,46	1,46
015	0,56	0,10	0,66	0,04	0,02	0,003	1,38	1,38
020	0,67	0,34	1,01	0,06	0,03	0,003	2,11	2,11

3.5 Расчет количества оборудования для выполнения годовой программы

Для определения потребного количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий (в нашем случае 7400шт/год), суммарные нормы времени по каждому виду оборудования и эффективный годовой фонд производственного времени оборудования, который при сорока часовой рабочей неделе можно рассчитать по формуле:

$$F_d = (((365 - B_d - P_d) \cdot 8) - P_{пд}) \cdot z \cdot K_p = (((365 - 118 - 27) \cdot 8) - 6) \cdot 1 \cdot 0,96 = 1684 \text{ ч}$$

где $B_d = 118$ - количество выходных дней в году;

$P_d = 27$ - количество праздничных дней в году;

$P_{пд} = 6$ - количество предпраздничных дней в году; $z = 1$ число

смен работы оборудования;

$K_p = 0,96$ - коэффициент, учитывающий время пребывания станка в ремонте для среднего оборудования.

Расчетное число каждого из видов сборочного оборудования:

$$C_p = \frac{T_{шт.к1}}{60 F_d} \cdot N$$

где $N = 7400$ шт./год - годовая программа выпуска;

$T_{шт.к}$ - сумма $T_{шт.к}$ для единицы оборудования. Коэффициент

загрузки оборудования:

$$K_3 = \frac{C_{p1} \cdot 100}{C_{п1}}$$

где $C_{п1}$ - принятое число оборудования, получается округлением расчетного в большую сторону. Данные расчета коэффициента загрузки каждого вида оборудования представлены в таблице 3.

Расчет коэффициента загрузки для каждого оборудования:

Запрессовочный станок
(операция 010)

$$T_{\text{шт.кл}} = 1.46$$

$$C_p = \frac{T_{\text{шт.кл}}}{60F_d} \cdot N$$

$$C_{p1} = \frac{T_{\text{шт.кл}}}{60F_d} \cdot N = \frac{1.46}{60 \cdot 1683.0} \cdot 7400 = 0.107 = 0.107$$

$$K_3 = \frac{C_{p1} \cdot 100}{C_{п1}}$$

принимаем $C_{п1} = 1$

$$K_{31} = \frac{C_{p1} \cdot 100}{C_{п1}} = \frac{0.107 \cdot 100}{1} = 10.7$$

Станок токарный
(операция 015)

$$T_{\text{шт.кл}} = 1.38$$

$$C_p = \frac{T_{\text{шт.кл}}}{60F_d} \cdot N$$

$$C_{p1} = \frac{T_{\text{шт.кл}}}{60F_d} \cdot N = \frac{1.38}{60 \cdot 1683.0} \cdot 7400 = 0.101 = 0.101$$

$$K_3 = \frac{C_{p1} \cdot 100}{C_{п1}}$$

принимаем $C_{п1} = 1$

$$K_{31} = \frac{C_{p1} \cdot 100}{C_{п1}} = \frac{0.101 \cdot 100}{1} = 10.1$$

Стол слесарный

(операция 020)

$$T_{шт.к1} = 2.11$$

$$C_p = \frac{T_{шт.к1}}{60 F_d} \cdot N$$

$$C_{p1} = \frac{T_{шт.к1}}{60 F_d} \cdot N = \frac{2.11}{60 \cdot 1683.0} \cdot 7400 = 0.155 = 0.155$$

$$K_3 = \frac{C_{p1} \cdot 100}{C_{п1}}$$

принимаем $C_{п1} = 1$

$$K_{31} = \frac{C_{p1} \cdot 100}{C_{п1}} = \frac{0.155 \cdot 100}{1} = 15.5$$

Занесем полученные результаты в таблицу 3. 3

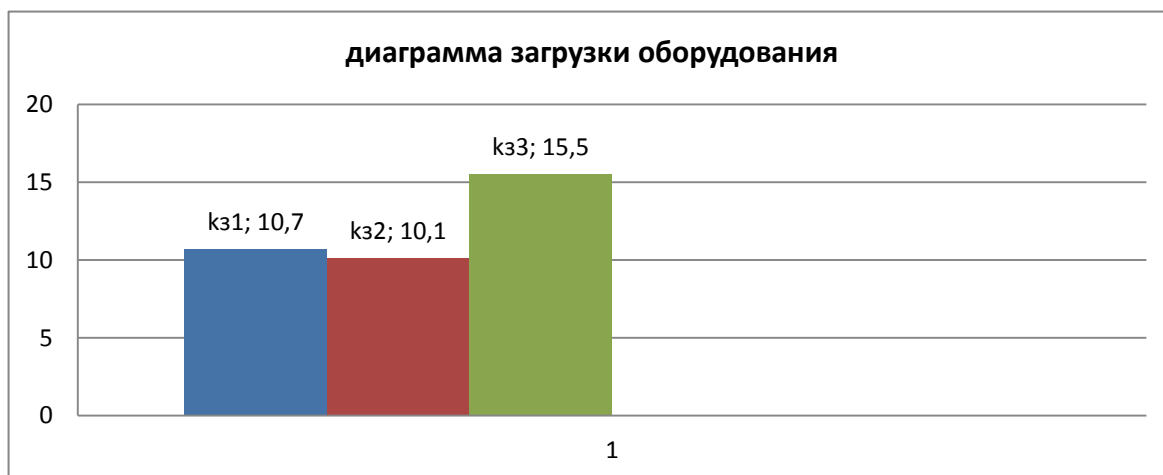
Таблица 3.3 - Расчет коэффициента загрузки

Наименование оборудования	C_p	$C_{п1}$	$K_3, \%$
Запрессовочный станок	0,107	1	10,7
Станок токарный	0,101	1	10,1
Стол слесарный	0,155	1	15,5

По данным таблицы 3.3 построена диаграмма, показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования, участвующего в процессе общей сборки статора асинхронного двигателя с частотным управлением.

Рис. 3.3 - График загрузки оборудования

Для проверки программы выпуска в год выбирается самое загруженное оборудование и



считается, возможно ли выпустить нужное число изделий. В данном случае самым загруженным оборудованием слесарный стол

Из формулы

$$C_p := \frac{T_{шт.к1}}{60F_d} \cdot N$$

Выразим N, подставив Сп вместо Ср

$$N = \frac{60F_d \cdot C_{п3}}{T_{шт.к3}} = \frac{60 \cdot 1683.0}{2.11} = 4.786 \times 10^4$$

47860 больше, чем 7400, следовательно, программа выпуска выполняется.

4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Смета затрат на проектирование

При проектировании рассматриваемого синхронного генератора были задействованы два инженерных работника: научный руководитель (НР) и инженер (И).

Распределение работы между проектирующими работниками сводим в таблицу 1

Таблица 4.1 – План разработки выполнения этапов проекта.

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители	Продолж. (дней)
1	Определение целей и задач. Составление и утверждение ТЗ.	НР И	1
2	Подбор и изучение материалов по теме.	И	3
3	Проектирование модели.	И	4
4	Электромагнитный расчет асинхронного двигателя.	И	12
5	Проверка полученных результатов	НР И	1
6	Подготовка и составление схем, чертежей	И	4
7	Расчет технологической части проекта	И	3
8	Расчет экономической составляющей проекта.	И	3
9	Составление раздела по социальной ответственности	И	3
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1
11	Проверка расчетно-пояснительной записки и чертежей	НР И	1
Занятости исполнителей		НР	3
		И	36
Длительность работы, дней			36

По данным таблицы 4.1 построим график занятости исполнителей.

Таблица 4.2 – График занятости исполнителей

Исполнитель и	Дни выполнения																															%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
НР																																8,3

$$I_{з.пл} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(23300 \cdot 1.1 + 2200) \cdot 1.3}{21} \cdot 3 = 5209,28 \text{ (руб)}$$

Расчет для инженера

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3}{21} \cdot 36 = 35545,71 \text{ (руб.)}$$

Тогда

$$I_{з.пл\Sigma} = \Sigma I_{з.пл} = 5209,28 + 35545,7 = 40754,98 \text{ (руб)}$$

4.1.3 Отчисления на социальные нужды.

В статью расходов «отчисления на социальные нужды» закладывается обязательные отчисления по установленным законодательством нормам. Органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования, от элемента «затраты на оплату труда». Размер отчислений на социальные нужды составляет 30% от ФЗП.

$$I_{соц} = 0,3 \cdot I_{з.пл\Sigma} = 0,3 \cdot 40754,98 = 12226,49 \text{ (руб)}$$

4.1.4 Материальные затраты на канцелярские товары.

Материальные затраты на канцелярские товары примем в размере 1200 руб. (в условиях цен на канцелярские товары в настоящее время).

$$I_{mat} = 1200 \text{ (руб.)}$$

4.1.5 Амортизация вычислительной техники.

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 33 000 рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

$$I_{ам} = \frac{T_u}{T_{кал}} \cdot \Phi_{кт} \cdot H_{\phi} = \frac{36}{365} \cdot 33000 \cdot \frac{1}{7} = 464,97 \text{ (руб)}$$

где T_u - количество отработанных дней на ПК;

$T_{кал}$ - количество календарных дней в году;

$\Phi_{кт}$ - первоначальная стоимость ПК;

$H_{\phi} = \frac{1}{T_{сл}}$ - срок полной амортизации.

4.1.6 Прочие неучтенные затраты.

Прочие неучтенные прямые затраты включают в себя все расходы связанные с налоговыми сборами (не предусмотренными в предыдущих статьях), отчисления внебюджетные фонды, платежи по страхованию, оплата услуг связи, представительские расходы, затраты на ремонт и прочее. Принимаем размер прочих затрат как 10% от суммы

расходов на материальные затраты, услуги сторонних организаций, амортизации оборудования, затрат на оплату труда, отчисления на социальные нужды.

$$I_{np} = 0,1 \cdot (I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам}) = \\ = 0,1 \cdot (40754,98 + 12226,49 + 1200 + 464,97) = 5464,64(\text{руб})$$

4.1.7 Накладные расходы.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Примем их за 200% от фактической заработной платы.

$$I_{накл} = 2 \cdot 40754,98 = 81509,96(\text{руб})$$

4.1.8 Себестоимость проекта

$$\sum I_{проекта} = I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам} + I_{np} + I_{накл} = \\ = 40754,98 + 12226,49 + 1200 + 464,97 + 5464,64 + 81509,96 = 141621,04(\text{руб})$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 4.4

Таблица 4.4 – Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{з.пл} \Sigma$	40754,98
2	Социальные отчисления	$I_{соц}$	12226,49
3	Материальные затраты	$I_{мат}$	1200,00
4	Амортизационные отчисления	$I_{ам}$	464,97
5	Прочие издержки	I_{np}	5464,64
6	Накладные расходы	$I_{накл}$	81509,96
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{проекта}$	141621,04

4.2. Оценка технического уровня

Научно-технический прогресс определяет продукция, которая соответствует или превосходит по техническому уровню лучшие аналоги во всем мире. Такая продукция обеспечивает значительное повышение производительности труда, экономию топлива, электроэнергии и материалов, требования экологической безопасности, является конкурентоспособной как на внутреннем, так и на внешних рынках. Такая продукция должна характеризоваться неизменностью показателей качества и технического уровня, что основано на строгом соблюдении технологической производства и соблюдении качества выпускаемого

товара. Для продукции высшей категории качества изготовителем должна быть предусмотрена повышенная гарантия надежности, безопасности и других важных показателей качества.

Промышленная продукция, которая по показателям качества и технического уровня не соответствует современным требованиям народного хозяйства как страны так и мира, подлежит модернизации. Если модернизации невозможна или нецелесообразна необходимо снять с производство подобную продукцию.

На любом этапе существования изделия можно применить единую схему количественного анализа конкурентоспособности

1. Подбор базового образца, схожего по условиям и назначениям эксплуатации с нашей продукцией.

2. Утверждение перечня нормативных, экономических и технических параметров, участвующих в исследовании (свести в таблицу).

3. Сопоставление (по каждой из групп параметров) имеющихся параметров с соответствующими параметрами, необходимые заказчику (потребителю). Мерой сравнения является единичный показатель, представляющий собой отношение величины параметра исследуемого изделия к величине такого же параметра, необходимого заказчику(потребителю).

4. На основе единичных показателей производится расчет группового показателя, который выражает различие между исследуемыми изделиями по всем группам параметров в целом.

Едиными методологическими принципами для данной схемы анализа являются учет предельности отдельных элементов потребности с тем. При нахождении образца на предельном уровне потребности не должен делаться вывод о большей конкурентоспособности анализируемого изделия с заведомо более высокими, чем у подобранного образца аналогичными параметрами. Необходимо придать количественной оценки те параметры, которые не имеют собственной физической меры, например, эргономичность. Использование экспертных методов, необходимость построения весовой базы параметров на основе многосторонних рыночных исследований.

В идеале, любое проектирование должно начинаться с определения потребностей заказчика. После этого анализа становится возможным вычислить единичный параметрический показатель.

$$q = \frac{p}{p_{100}} p$$

где q - параметрический показатель;

P - величина параметра исследуемого изделия;

P_{100} - величина параметра изделия, которое удовлетворит потребность на 100%;

p - вероятность достижения заданной величины параметра. Она необходима для получения более точного результата с учетом элемента случайности, что снижает риски при осуществлении проекта.

Каждому параметрическому показателю изделия будет присвоен некий вес d , различный для каждого показателя. После вычисления единичных показателей всех показателей становится возможно вычисление группового показателя, характеризующего соответствие исследуемого изделия потребности (его полезность)

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i d_i$$

где Q - групповой технический показатель (по техническим параметрам); q_i - единичный параметрический показатель по i -му параметру;

d_i - вес i -го параметра; n - число рассматриваемых параметров.

Показатель конкурентоспособности исследуемого изделия по отношению к аналогичному изделию другой фирмы k_w будет равен.

$$k_{\text{ТП}} = \frac{Q_H}{Q_K}$$

где $k_{\text{ТП}}$ - показатель конкурентоспособности нового изделия по отношению к конкурирующему по техническим параметрам;

Q_H Q_K ~ соответствующие групповые технические показатели нового и конкурирующего изделия.

Данные для оценки конкурентоспособности удобно представлять в виде таблицы.

Таблица 4. 6 – Оценка технического уровня новшества.

Характеристики	Вес показател ей	Новшество		Конкурент		Гипотетичес кий образец	
	d_i	P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}	q_{100}
Номинальная мощность, кВт	0,169	10	0,869	10,5	0,913	11,5	1

Масса активных материалов, кг	0,154	7,15	1,016	7,23	1,026	7,04	1
Частота вращения, Об/мин	0,138	1500	0,937	1400	0,875	1600	1
Коэффициент полезного действия, %	0,231	87	0,967	86	0,956	90	1
Коэффициент мощности Cosφ, о.е.	0,187	0,8	0,975	0,78	0,975	0,82	1
Степень защиты	0,123	70	0,814	62	0,721	86	1
Итого			0,929		0,911		1

Таблица 4. 5 – Матрица предпочтений

№ п/п	Наименование	1	2	3	4	5	6	сумма	d _{ij}
1	Мощность	1	1	1,5	0,5	0,5	1	5,5	0,169
2	Масса активных материалов	0,5	1	0,5	1	0,5	1,5	5	0,154
3	Частота вращения	0,5	1,5	0,5	0,5	1	0,5	4,5	0,138
4	Коэффициент полезного действия	1	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	7,5	0,231
5	Коэффициент мощности Cosφ	1,5	1	1,5	1	1	1,5	6	0,187
6	Степень защиты	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	4	0,123
	ИТОГО							32,5	

$$K_{\text{ТП}} = 0,929/0,911 = 1,019$$

В итоге по оценке конкурентоспособности новшества вычислено, что технического уровня равен 1,019, что свидетельствует о преимуществах новшества над конкурентом.

5. Социальная ответственность

В данном разделе мы рассмотрим безопасность технологического процесса сборки асинхронного двигателя. Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование: сборочный стол ТВ-2517, кисть КФК-8 ГОСТ 10597-87, молоток 7850-0118 ГОСТ 2310-77, пневмогайковерт ИП 3112 ГОСТ 10210-83, монорельс Q-1000кг, захват ТВ-9934, кувалда ТВ-1493, шлифовальная машина ИП-2014 ГОСТ 12634-80.

Технологический процесс сборки включает в себя следующие виды работ: работу с механизированным ручным инструментом, продувку деталей, работу с транспортными приспособлениями.

5.1 Анализ опасных и вредных факторов

При сборке электрических двигателей возникает ряд вредных и опасных производственных факторов.

Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

- Поражение электрическим током, при работе испытательной станции.
- Получение механических травм, при слесарно-сборочных работах. Наряду с опасными факторами можно выделить вредные факторы, которые

приводят к нарушению нормального режима работы. К вредным факторам относятся:

- Отклонение параметров микроклимата на участке общей сборки асинхронного двигателя от установленных норм.
- Шум, при работе с ручным механизированным инструментом (пневмогайковерт).
- Вибрация, при работе с ручным механизированным инструментом (пневмогайковерт).
- Недостаточная освещенность рабочей зоны

В цехе на сборочном участке используются вещества, которые оказывают вредное влияние на организм человека. Санитарными нормами установлены предельно - допустимые концентрации вредных примесей в воздухе. Одно из веществ - хромовый ангидрид, его $ПДК = 0.01 \text{ мг/м}^3$, класс опасности - 1; марганец, его $ПДК = 0.1 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 2. Также при сборке применяется сварка что влечет за собой образование таких веществ как СО, его $ПДК = 20 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 4; Пыль сварочная аэрозоль, её $ПДК = 4 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 2. Также образуется пыль, её $ПДК = 6.0 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 4.

Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория.

С учётом предельно - допустимых концентраций вредных веществ, эти участки выполняются с вытяжной вентиляцией.

5.2 Производственная санитария

В результате гигиенических исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека.

При длительном воздействии шума на организм человека происходят не желательные явления:

- снижается острота зрения, слуха;
- повышается кровяное давление;
- снижается внимание.

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно сосудистой и нервной систем. Измерение шума проводят с целью оценки его на рабочих местах или рабочих зонах для сопоставления с требованиями санитарных норм, а также для оценки шумовых характеристик машин и оборудования, с целью разработки мероприятий по борьбе с шумом. Для оценки шума используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром

5.3 Микроклимат

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях, в частности в рабочих зонах. Рабочей зоной называется пространство, высотой до 2-х метров над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих (более 2-х часов непрерывно).

Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующими параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока. Работа относится к средней тяжести - Па

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку приведены в табл. 1

таблица 5. 1 Оптимальное значения температур

Параметр	Сезон года	
	Холодный	Тёплый
Оптимальная температура, °С	18-20	21-23
Относительная влажность, %	60-40	60-40
Скорость движения воздуха, м/с	0,2	0,3

На рассматриваемом участке при сборке происходит образование пыли и других вредных факторов.

таблица 5.2 Концентрация вредных веществ

Вещества	ПДК, мг/м	Класс опасности	Агрегатное состояние
СО	20	4	Газ
Пыль свинцовая	4	2	Аэрозоль
Пыль	6	4	аэрозоль

Периодический контроль содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ осуществляется силами заводской лаборатории или санитарно-гигиенической станции.

В данном случае это условие выполняется, так как проектируемый участок разработан на базе действующего, где заводская комиссия в своё время проводила замеры искусственного освещения и заключила, что оно соответствует норме.

Шум на производстве - это ещё одна проблема, которая наносит большой экономический и социальный ущерб. Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, технические и физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

В таблице приведены уровни звукового давления, измеренные в восьми октановых полосах со среднегеометрическими частотами.

таблица 5.3 Уровни звукового давления

Уровни звукового давления, Дб, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
99	92	86	83	80	78	78	74

Необходимые условия для снижения шума:

- Всё оборудование, применяемое на участке сборки, для снижения шума установлено на виброопорах.
- На данном участке, при выполнении мероприятий по сокращению проникновения шумов на улицу, световые проёмы целесообразно закладывать стеклоблоками. Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а так же опорно-двигательной системы человека. Измерение вибрации производится прибором ВШВ-003, снабженным датчиком вибрации. Нормативным документом, рассматривающим уровни шума для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является ГОСТ 12.1.003-88.

5.4 Техника безопасности слесаря-сборщика электрических машин

Цех относится к помещениям с повышенной электроопасности [ПУЭ].

1. К самостоятельной работе слесаря-сборщика эл.машин допускаются лица прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучения по теоретическим знаниям и практическим навыкам в работе в объёме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.
2. Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности. Первичный инструктаж производит мастер цеха. Повторный инструктаж рабочий получает - ежеквартально.
3. После первичного инструктажа в течении первых двух - пяти смен должен выполнять работу под наблюдением мастера, либо наставника, после чего оформляется допуск к самостоятельной работе, который фиксируется датой и подписью инструктирующего и инструктируемого в журнале инструктажа.
4. Слесарь-сборщик использует пневмоинструмент (гайковерты, пневмопистолет) и грузоподъёмные механизмы, поэтому сборщикам предъявляются повышенные требования и они раз в три года проходят обучение в объеме знаний программы и инструкций по охране труда.
5. Рабочий должен работать в спецодежде:
 - Костюм ХБ ГОСТ 27575-87 ;
 - Перчатки ХБ вязанные ГОСТ 5007-87 ;
 - Ботинки кожаные с металлическим носком ГОСТ 28807-90 ;
 - Рукавицы комбинированные ГОСТ 124010-75.
6. Необходимо соблюдать:
 - Правила внутреннего распорядка, не допускать распития спиртных напитков
 - Правила личной гигиены (работать в спецодежде, спецобуви и других СИЗ, пищу принимать только в отведённых для этих целей помещениях)
 - Курить разрешается в специально отведённых местах
7. Работать инструментом, отвечающим требованиям ГОСТ 12.2.027-80:
 - Молотки, зубила, бородки, обжимки, керны и т.д. не должны иметь скошенных бойков и заусенцы;
 - Гаечные ключи должны быть исправными и соответствовать размерам болтов и гаек; Нарращивать ключи другими предметами запрещается.
8. К работе с электроинструментом допускаются лица, прошедшие инструктаж по 1 группе

безопасности.

9. Напряжение переносного инструмента должно быть не выше 42В.

10. К работе с бензином и легковоспламеняющимися веществами допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности и противопожарным правилам.

11. Лицам, моложе 18-ти лет запрещается работать с грузоподъемными механизмами.

5.5 Расчет заземления станка

На участке механической обработки используются агрегатные станки, имеющие токоведущие части. Поэтому важным вопросом является электробезопасность обслуживания станков и работе на них.

В случае, если токоведущие части станков оказались под напряжением, то может произойти поражение электрическим током обслуживающего персонала. Защитное заземление исключает потенциальную возможность электрического поражения током.

В качестве заземлителей применяют металлические конструкции зданий, имеющие хороший контакт с землёй, а так же искусственные заземлители. Искусственное групповое защитное заземляющее устройство (УЗЗ) может состоять из вертикальных электродов и горизонтально расположенной соединительной полосы, соединённых между собой сваркой или болтовым соединением. Для обеспечения надежной защиты от электропоражения устройство заглубляется в землю на 0.7 -0.8 м. Это необходимо так как верхний слой земли промерзает и высыхает при снижении и повышении сезонных колебаний температуры, что может приводить к возрастанию удельного сопротивления растеканию тока в земле.

Для уменьшения размеров и экономических затрат на содержание УЗЗ рекомендуется использовать сопротивление естественных заземлителей. В качестве которых можно использовать: свинцовые оболочки кабелей, инженерные сооружения, проложенные в земле, кроме трубопроводов для горючих жидкостей.

В данной работе расчёт УЗЗ выполнен, исходя из допустимого, согласно ПУЭ, сопротивление заземлителя растеканию тока методом коэффициентов использования.

Рассчитываем систему заземления агрегатного станка, работающего на напряжении $U=380В$.

Для заземления используются трубы диаметром 5 см., толщиной 0.35 см. и полосовую сталь сечением 4х12 мм.

1) В соответствии с рекомендациями [1 стр. 3] трубчатые заземлители установим в землю на глубину 80 см., а расстояние между ними примем, $a = 8.4м$. Верхние концы заземлителей соединены при помощи полосовой стали.

2) На стр. 7 [1] определяем допустимое сопротивление заземлителей. Оно равно 40

Ом. А по таблице 14 [2] удельное сопротивление грунта $\rho_{гр}=700$ Ом х м. (каменистый грунт).

3) Учитывая возможность промерзания грунта зимой и высыхания его летом, определяем расчётные значения сопротивления грунта при этих условиях. По таблице 2 [12] определяем повышающие коэффициенты:

$K_B = 1.8$ - для вертикальных электродов;

$K_G = 4.5$ - для горизонтальных электродов.

Удельное сопротивление электрода:

$$\rho_{\varepsilon} = \rho_{гр} \times K_B = 700 \times 1.8 = 1260 (\text{Ом} \times \text{м})$$

Удельное сопротивление стальной полосы:

$$\rho_{\pi} = \rho_{гр} \times K_G = 700 \times 4.5 = 3150 (\text{Ом} \times \text{м})$$

4) Удельное сопротивление одной трубы, находящейся в земле:

$$R_{\varepsilon} = \frac{\rho_{\varepsilon}}{2\pi L_m} \left(\lg \frac{2L_m}{d} + 0.5 \lg \frac{4h_m + L_m}{4h_m - L_m} \right) = \frac{1260}{2\pi \cdot 2.8} \left(\lg \frac{2 \times 2.8}{0.05} + 0.5 \lg \frac{4 \times 0.8 + 2.8}{4 \times 0.8 - 2.8} \right) = 179.3 (\text{Ом})$$

L_m - длина трубы, м;

d - Диаметр трубы, м;

h_m - глубина залегания трубы, м.

5) Определяем предварительное число электродов:

$$n' = \frac{R_{\varepsilon}}{R_U} = \frac{179.3}{4} = 44.8 = 45$$

где $R_U=4$ Ом - наибольшее допустимое сопротивление заземляющего устройства.

5) Определяем окончательное потребное количество электродов:

$$n = \frac{R_{\varepsilon}}{R_U \times \eta_{\varepsilon}} = \frac{179.3}{4 \times 0.735} = 61$$

где η_{ε} - коэффициент использования электродов при установке их в 3 ряда.

6) Определяем длину соединительной полосы:

$$l_{пол} = a \times n = 8.4 \times 61 = 512.4 (\text{м})$$

8) Определяем сопротивление соединительной полосы:

$$R_{пол} = \frac{\rho_{\pi}}{2\pi l_{пол}} \times \ln \frac{2(l_{пол})^2}{h_{\pi} \times b} = \frac{3150}{2\pi \cdot 512.4} \times \ln \frac{2 \times (512.4)^2}{0.8 \times 0.0004} = 20.7 = 21 (\text{Ом})$$

где b - толщина полосы.

9) Определяем общее сопротивление контура защитного заземления:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_3 \times R_{II}}{R_3 \eta_{II} \times R_{II} \eta_3 n} = \frac{179.3 \times 21}{179.3 \times 0.473 + 21 \times 0.735 \times 61} = 3.66(\text{Ом})$$

По условиям ПЭУ $R_U \geq R_{\Sigma}$, из расчётов видно, что данное условие выполняется, следовательно, защитное заземление рассчитано правильно.

5.6 Пожарная безопасность

Участок общей сборки асинхронного двигателя согласно НПБ105-03 относится к категории «Д», т.е. это производство в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Лица, не прошедшие противопожарный инструктаж к работе не допускаются. Каждый работающий на объединении, не зависимо, от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной безопасности не допускать действий, способных привести к пожару или загоранию.

Лица, виновные в нарушении настоящих правил, в зависимости от характера нарушений и их последствий, несут ответственность в установленном законом порядке - в дисциплинарном, административном или судебном порядке.

5.7 Содержание зданий и помещений на предприятии

- на входных дверях производственных помещений, складах должны быть вывешены категории взрывопожароопасности (А,Б,В,Г,Д,Е)
 - все производственные и вспомогательные помещения должны 1 раз в смену очищаться от промышленных отходов и горючих материалов.
 - проходы, тамбуры, выхода, коридоры, лестничные клетки не разрешается загромождать.
 - все выходы должны открываться по направлению из здания, помещения.
 - хранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более суточной, сменной потребности.
 - использовать ГЖ (горючесмазочная жидкость) и ЛВЖ (легковоспламеняющаяся жидкость) для мойки деталей и узлов запрещается.
 - для использованных обтирочных материалов должны быть установлены металлические ящики с крышкой. По окончании смены они должны очищаться.
 - сварочные работы, и другие огневые работы в складах и производственных помещениях должны производиться только по письменному разрешению и согласовываться с пожарной охраной, с соблюдением всех указанных мероприятий.
 - спец. одежду следует хранить в специальных кабинках, изолированных от складских помещений и производственных помещений. В карманах не должны храниться промасленная ветошь. Спец. одежда должна своевременно стираться
- На территории предприятия и в помещениях запрещается
- загромождать различными предметами и оборудованием, готовой продукцией и заготовками проходы, выхода, коридоры, лестничные проемы и подходы.
 - хранить специальную одежду и другие сгораемые материалы на радиаторах, вешать на производственное оборудование, электроприборы.
 - курить, пользоваться открытым огнем, не предусмотренным спец. технологией разводить костры.
 - производить уборку помещений, оборудования с применением ЛВЖ и ГЖ.
 - скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь.
 - использовать не по назначению противопожарный инвентарь.
 - загромождать различными предметами проходы, выхода.
 - самовольно подключать в электросеть электронагревательные приборы,

пользоваться неисправными, кустарного производства электроприборами.

- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра.
- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование.
- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов.
- пользоваться не просушенными ковшами, инструментами при разливе металла, пользоваться заливщикам неисправной и необработанной огнезащитным составом спец. одеждой.

Каждый работающий на предприятии должен знать

- при обнаружении пожара или загорания вызвать пожарную помощь по телефону и принять меры у ликвидации очага пожара или действовать по указанию старшего начальника или начальника ДПД.
- знать пути эвакуации из помещения.
- знать пожароопасность своего цеха, участка и при обнаружении нарушений противопожарного характера устранить их или сообщить начальнику цеха.
- знать и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения.

Огнетушители ОВП-5, ОВП-10 - предназначены для тушения загорания различных веществ и материалов, за исключением щелочноземельных элементов, а также электроустановок под напряжением.

Огнетушители ОП-5, ОП-2 - порошковые, предназначены для тушения загорания установок под напряжением до 1000В.

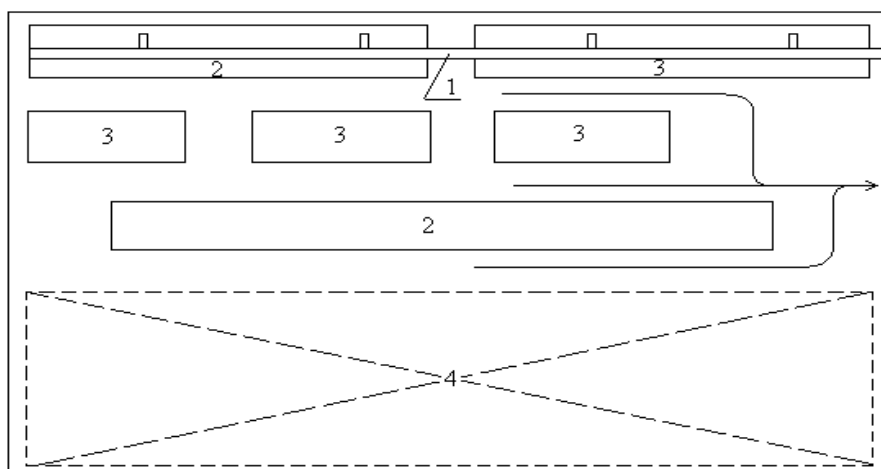


Рис.5.1 План эвакуации

- 1 – монорельс
- 2 – верстак для сборки двигателей
- 3 – верстак для комплектации роторов
- 4 – места складирования деталей и заготовок

5.8 Охрана окружающей среды

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилия учёных многих специальностей. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий, является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это требует решения целого комплекса сложных технологических и конструктивных задач, основанных на исследовании новейших научно-технологических достижений.

Важными направлениями следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

На участке сборки в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидких отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны

(промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

Заключение

В данной работе был спроектирован асинхронный крановый двигатель с короткозамкнутым ротором со следующими характеристиками: мощность $P_2 = 750$ Вт, номинальной частотой вращения $n = 1200$ об/мин, число пар полюсов $2p = 6$, напряжением питания $U_1 = 220$ В.

В электромагнитном расчете выбраны главные размеры: внутренний диаметр статора $D = 96.6$ мм и длина воздушного зазора $l_s = 62$ мм определены параметры двигателя, потери, КПД для номинального режима работы $\eta = 0.68$, коэффициент мощности $\cos(\varphi) = 0.68$. Установлено, что кратность пускового тока и пускового момента соответствует требованиям, предъявляемым к данному типу двигателей. Произведен тепловой и вентиляционный расчеты, показавшие, что спроектированный двигатель обладает необходимым запасом по температуре для данного класса изоляции, а вентилятор обеспечивает необходимый для охлаждения двигателя расход воздуха.

Механический расчет вала показал, что результирующий прогиб вала не превышает 12% от ширины воздушного зазора, номинальная частота вращения вала на порядок меньше критической, а сам вал удовлетворяет требованиям необходимой прочности.

В разделе специальная часть были получены механические характеристики спроектированного двигателя при значениях частоты питающего напряжения f_1 пределах от $f_{1ном} = 60$ Гц до $f_1 = 5$ Гц. Получен закон необходимого изменения напряжения для получения постоянного момента на валу двигателя. По построенным характеристикам установлено, что приведенный закон не позволяет получать постоянный момент в зоне низких частот, однако двигатель сохраняет работоспособность во всем исследуемом диапазоне частот, так как пусковой момент превосходит значение номинального момента.

В разделе «Технология производства электрических машин» рассмотрен процесс сборки статора проектируемого двигателя, приведен анализ конструкции статора на технологичность, рассчитано необходимое усилие запрессовки сердечника статора в корпус, $P = 81.5$ кН, и выбран необходимый для этой операции пресс П6320. Так же составлена схема сборки статора и определены нормы времени, выбрано оборудование и построен график его загрузки. Расчет коэффициента загрузки показал удовлетворение выпуска в объеме 7400 штук в год.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» приведен план выполнения этапов проектирования, и составлен график занятости исполнителей, получена смета затрат на подготовку проекта, и определена его себестоимость.

Так же приведена оценка технологического уровня и расчет коэффициента технического уровня $K_{\text{тн}} = 1,019$. Значение коэффициента больше единицы, что свидетельствует о преимуществах разработанного двигателя перед конкурентами.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе производства двигателя. Рассмотрены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Произведен расчет заземления участка сборки.

В целом спроектированный двигатель удовлетворяет требованиям задания и нормативным требованиям, предъявляемым к данному типу электрических машин.

Conclusion

In this work was designed crane asynchronous motor with squirrel-cage rotor with the following parameters: power = 750 W, rated speed 1200 rpm, the number of pairs of poles $2p=6$, supply voltage V.

In the electromagnetic calculation of the selected main dimensions: the inner diameter of the stator and a long air gap 62 mm determined engine parameters, losses, efficiency for nominal operation, the power factor of 0.68. It is established that the ratio of starting current and starting torque meets the requirements for this type of engines. Produced thermal and ventilation calculations have shown that the designed motor has the correct supply temperature for the given insulation class, and the fan provides the necessary cooling for the engine air flow.

Mechanical shaft calculation showed that the resulting shaft deflection does not exceed 12% of the width of the air gap, the nominal frequency of rotation of the shaft much less critical, and the shaft meets the necessary strength requirements.

In the section of the special part have been obtained mechanical characteristics of designed the engine, when values of frequency ranging from $f = 5$ Hz. The resulting

required law of change of voltage for obtaining a constant torque on the motor shaft. On constructed characteristics it is established that the given law does not allow to obtain constant torque in the area of low frequencies, however, the engine keeps working over the whole measured frequency range, as the starting torque exceeds the rated torque.

In the section "Technology of production of electric machines" describes the process of assembling the stator of the designed motor, the analysis of the stator design for manufacturability, calculated the force required press fitting of the stator core in the housing, $R=81,5$ kN and the selected necessary for the operation of the press П6320. Also made a scheme of the Assembly of the stator and the standards of the time, selected the equipment and the construction schedule for its download. Calculation of load factor showed an appreciation of the issue in the volume of 7400 units per year.

In the section "Financial management, resource effective and resource conservation" is an execution plan the design stages, and a schedule of employment of performers, the obtained estimates of expenses for preparation of the project, and determined its cost.

Also given the assessment of the technological level and the calculation of the coefficient of technical level of 1,019. The value of the coefficient is greater than one, indicating the advantages of engine in front of the competitors.

In the section "Social responsibility" the analysis of dangerous and harmful factors arising in the process of production of the engine. Considered are the issues of safety, industrial hygiene, fire safety. The calculation of the ground portion of the Assembly.

In General, the designed engine meets the requirements of the task and regulatory requirements imposed on this type of electrical machines.

Список литературы

1. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов
И.П. Копылов, Б.К. Клоков, Б.Ф. Токорев, под. ред. И.П.Копылова-3-е издание-
М:Высшая школа 2002. - 757 с.
2. Гурин Я. С., Кузнецов Б. И., Проектирование серий электрических машин, -М.:
Энергия, 1978 – 480 с.
3. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А. Э. Кравчик и др. –М.:
Энергоатомиздат, 1982 – 504 с.
4. Брускин Д. Э. и др., Электрические машины, Ч. 1, -М.: Высш. шк., 1987 – 319 с.
5. Справочнк по электрическим машинам :В 2 т./ С74 Под общ.ред Копылова и Б. К.
Клокова.Т 1. – М .:Энергоатомиздат ,1988.-456 с.
6. Технология производства электротехнических изделий: учебное пособие /
А.Д. Чесалин, П.Р. Баранов; Национальный исследовательский Томский
политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского
политехнического университета, 2010. - 60 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.Г. Косиловой и
Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. 656с., ил.
8. Байкалова В.Н., Колокатов А.М., Малинина И.Д. Расчет режимов резания при
точении. Методические рекомендации по курсу «Технология конструкционных
материалов и материаловедение» (раздел «Обработка конструкционных
материалов резанием»).
9. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и
слесарно-сборочные работы по сборке машин. Серийное и крупносерийное
производство.- М.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
10. Антонов М.В. Технология производства электрических машин: Учебник для вузов.
- 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 592 с.:
11. Виноградов Н.В. Производство электрических машин. Учебное пособие для вузов.
Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1970. 288 с. С илл.
12. Техническое нормирование операции механической обработки деталей: Учебное
пособие / М.М. Морозов. И.И. Гусев. С.А. Фадюшин. - Челябинск: ЮУрГУ, 2003.

— 65 с.

13. Сборка и монтаж изделий машиностроения: справочник в 2-х т. Т. 1 / под ред. В.С. Корсакова, В.К. Замятина. - М.: Машиностроение, 1983. - 480 с.
14. Замятин В.К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: справочник. - М.: Машиностроение, 1995. - 608 с.